



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

DISEÑO DE UN MODELO DE LOCALIZACIÓN GEOESPACIAL PARA LA
EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA
CUENCA DEL RIO CHICAMA (REGIONES LA LIBERTAD Y CAJAMARCA)

Línea de investigación:

Procesamiento digital de imágenes y señales

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Geógrafo

Autora:

Romero Pinedo, Angie Mercedes

Asesora:

Rojas León, Gladys

ORCID: 0000-0003-2961-9643

Jurado:

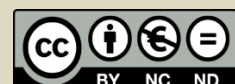
Aylas Humareda, Maria del Carmen

Valdivia Orihuela, Braulio Armando

Aparicio Ilazaca, Roxana Clara Yaquely

Lima - Perú

2024



“DISEÑO DE UN MODELO DE LOCALIZACIÓN GEOESPACIAL PARA LA EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA CUENCA DEL RIO CHICAMA (REGIONES LA LIBERTAD Y CAJAMARCA)”

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	marte2.sid.inpe.br Fuente de Internet	4%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
3	www.slideshare.net Fuente de Internet	2%
4	repositorio.ana.gob.pe Fuente de Internet	2%
5	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	2%
6	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	riunet.upv.es Fuente de Internet	1%
8	www.researchgate.net Fuente de Internet	1%



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
DISEÑO DE UN MODELO DE LOCALIZACIÓN GEOESPACIAL PARA LA
EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA
CUENCA DEL RIO CHICAMA (REGIONES LA LIBERTAD Y CAJAMARCA)

Línea de investigación: Procesamiento digital de imágenes y señales

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Geógrafo

Autora:

Romero Pinedo, Angie Mercedes

Asesora:

Rojas León, Gladys

ORCID: 0000-0003-2961-9643

Jurado:

Aylas Humareda, Maria del Carmen

Valdivia Orihuela, Braulio Armando

Aparicio Ilazaca, Roxana Clara Yaquely

Lima – Perú

2024

DEDICATORIA

A mis padres: María y Edgardo, que por su ejemplo aprendí el valor del trabajo duro, la importancia de la perseverancia, este logro no es solo mío sino de ustedes también.

A mi hermano: Yamil, por su apoyo y amor desinteresado en todo momento.

A mi abuela: Rosaura, por estar conmigo siempre y aunque nos faltaron vivir muchas cosas, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí.

A todos aquellos que han sido una parte integral de mi camino académico y personal.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la sabiduría y fuerza para culminar esta etapa académica.

A mi asesora, Gladys Rojas, por su orientación experta, su paciencia y su apoyo constante a lo largo de este proceso. Sus conocimientos y sugerencias fueron fundamentales para dar forma a este trabajo y llevarlo a buen término.

A mis padres, María y Edgardo, desde mi primer día en la universidad hasta la culminación de esta tesis, ustedes han sido mis más grandes motivadores, mis guías más sabios.

A mi abuela y tía, Rosaura e Ysabel, por acompañarme en mi travesía universitaria, aunque físicamente ya no estás conmigo, sé que desde el cielo sigues velando por mi bienestar y guiándome siempre.

A todos mis familiares y amigos, su amor incondicional y apoyo constante han sido el sostén que me ha permitido crecer, aprender y alcanzar mis metas.

ÍNDICE

RESUMEN.....	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Descripción y formulación del problema	10
1.2. Antecedentes	13
1.3. Objetivos	18
1.4. Justificación.....	19
1.5. Hipótesis.....	19
II. MARCO TEÓRICO.....	20
2.1. Bases Teóricas sobre el tema de investigación	20
III. MÉTODO.....	34
3.1. Tipo de investigación	34
3.2. Ámbito temporal y espacial.....	34
3.3. Variables	34
3.4. Población y muestra	35
3.5. Instrumentos	36
3.6. Procedimientos	37
3.7. Análisis de datos.....	60
IV. RESULTADOS.....	61
V. DISCUSIONES DE RESULTADOS.....	67

VI.	CONCLUSIONES	68
VII.	RECOMENDACIONES	69
VIII.	REFERENCIAS	70
IX.	ANEXOS.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

N°	Descripción	Pág
Tabla 1.	Operacionalización de variables de la investigación.....	34
Tabla 2.	Provincia y distritos que comprende la cuenca del río Chicama.....	36
Tabla 3.	Ubicación política de la U. H. Chicama, 2022.....	38
Tabla 4.	Estaciones Hidrométricas, Cuenca Chicama al 2022.....	41
Tabla 5.	SENAMHI - Tipos de Clima en la Unidad Hidrográfica Chicama	42
Tabla 6.	Geología, unidad hidrográfica Chicama.....	44
Tabla 7.	Cobertura vegetal en el ámbito de la U.H. Chicama	48
Tabla 8.	Población por unidad hidrográfica (nivel 6), U. H. Chicama, 2022.....	52
Tabla 9.	Agua subterránea Tipo 1 (A. Sub-1)	65
Tabla 10.	Agua subterránea Tipo 2 (A. Sub-2)	65
Tabla 11.	Cubierta Artificial Tipo 1 (C.A.-1).....	65
Tabla 12.	Cubierta Artificial Tipo 2 (C.A.-2).....	66
Tabla 13.	Definición de features datasets con su feature class, tipo y relación de atributos	74
Tabla 14.	Definición de feature class con atributos y descripción tabular	78

ÍNDICE DE FIGURAS

N°	Descripción	Pág
	Figura 1. Partes de una cuenca hidrográfica.....	29
	Figura 2. Vista general de la unidad hidrográfica Chicama	39
	Figura 3. Hidrografía adaptada a la cuenca Chicama.....	40
	Figura 4. Clasificación climática, Chicama, al 2022.....	43
	Figura 5. Geología, unidad hidrográfica Cuenca Chicama	47
	Figura 6. Tipos de cobertura vegetal, Chicama	49
	Figura 7. Áreas naturales protegidas, unidad hidrográfica Chicama.....	50
	Figura 8. Árbol de decisiones obtenido	57
	Figura 9. Esquema de Árbol de decisiones	63
	Figura 10. Identificación de Áreas potenciales con disponibilidad de aguas subterráneas en la cuenca del río Chicama.....	67

RESUMEN

La cuenca del río Chicama ubicada al norte de Perú, entre los paralelos 7° 21' y 7° 59' latitud sur y los meridianos 78° 14' a 79° 20' de longitud oeste, de acuerdo con el sistema de coordenadas geográficas WGS 1984. Asimismo, de acuerdo con el sistema de coordenadas geográficas WGS 1984 (UTM), zona 17 se ubica E: 805463.4, N: 9186615.5 y E: 683697.8 y N: 9117173.5. En el presente trabajo tuvo como objetivo principal evaluar la disponibilidad de aguas subterráneas en la cuenca del río Chicama a través del diseño de un modelo de localización geoespacial. Según el inventario de pozos subterráneos elaborado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en el 2014, se identificó un total de 491 pozos subterráneos, la zona de estudio se encuentra dentro de este inventario, logrando una certeza de 90%. Se concluye que el área total identificado con potencial de disponibilidad de agua subterráneas es de 262,007.19 ha.

Palabras claves: ANA, aguas subterráneas, cuenca, Chicama, área total, disponibilidad

ABSTRACT

The Chicama river basin is located in northern Peru, between parallels 7° 21' and 7° 59' south latitude and meridians 78° 14' to 79° 20' west longitude, according to the WGS 1984 geographic coordinate system. Also, according to the WGS 1984 (UTM) geographic coordinate system, zone 17 is located E: 805463.4, N: 9186615.5 and E: 683697.8 and N: 9117173.5. The main objective of this work was to evaluate the availability of groundwater in the Chicama river basin through the design of a geospatial location model. According to the inventory of underground wells prepared by the National Water Authority (ANA) in 2014, a total of 491 underground wells were identified; the study area is located within this inventory, achieving a certainty of 90%. It is concluded that the total area identified with potential groundwater availability is 262,007.19 ha.

Key words: ANA, groundwater, basin, Chicama, total area, availability, water availability.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción y formulación del problema

Las reservas subterráneas de agua representan una fuente crítica de suministro del recurso hídrico, dando alcance aproximadamente a la mitad de la población global, a su vez de satisfacer las necesidades de riego en la agricultura. Asimismo, desempeñan un papel vital en el mantenimiento de diversos ecosistemas, como arroyos, lagos y humedales. La capacidad de estas grandes reservas de agua para influir en el flujo anual es fundamental para mantener un caudal constante en muchos ríos y para conservar la humedad del suelo en las áreas cercanas a los cursos de agua y las zonas bajas.

A escala mundial, la gestión sostenible del agua siempre ha sido objeto de debate, requiriendo una estrecha colaboración entre la sociedad y el gobierno. Los desafíos actuales exigen soluciones que sean políticamente aceptables, legalmente sólidas, respetuosas con el medio ambiente, equitativas socialmente, económicamente viables y respaldadas por la ciencia. (Castro, 2016).

La adecuada aplicación del conocimiento sobre el comportamiento del agua subterránea es fundamental para el ordenamiento del territorio y la resolución de conflictos relacionados con este recurso vital.

El agua subterránea, siendo económica, accesible y esencial para aproximadamente un tercio de los sistemas de riego y el suministro de agua potable a nivel mundial, ha experimentado un notable aumento en su utilización durante las últimas décadas del siglo pasado. Este incremento ha sido especialmente significativo en regiones áridas y semiáridas, donde los agricultores, en su mayoría de países en desarrollo, han recurrido a ella sin

asistencia técnica ni respaldo económico gubernamental. Esta estrategia ha demostrado ser efectiva en la lucha contra la pobreza. La principal razón de este fenómeno radica en el bajo costo del agua subterránea en comparación con el desarrollo de embalses y sistemas de canalización. Además, su disponibilidad cercana al punto de extracción y su capacidad para servir como reserva durante períodos de sequía, gracias a los considerables volúmenes de agua almacenados en la mayoría de los acuíferos, la convierten en una opción atractiva y segura para los agricultores. (Sahuquillo, 2009).

La combinación de aguas superficiales y subterráneas puede lograrse mediante la recarga artificial o el uso conjunto alternante. En este último enfoque, se prioriza el uso de agua superficial durante épocas húmedas y se recurre más a las aguas subterráneas en períodos secos. Esta estrategia, sin aumentar la capacidad de almacenamiento superficial, aprovecha mejor el recurso hídrico superficial gracias a las fluctuaciones de nivel en los acuíferos.

Más del 70% del suministro de agua para ciudades, industrias y agricultura procede del subsuelo. Entre los términos comúnmente utilizados para referirse a la gestión del agua se encuentran la disponibilidad (el agua existente o excedente), la demanda (el requerimiento, incluyendo las pérdidas), la escasez (la falta o ineficiencia en su manejo), el recurso (como mercancía o bien común) y la sobreexplotación (la extracción intensiva y sus efectos). Aunque los primeros cuatro conceptos están definidos con cierta claridad, el último, que tiene implicaciones legales para limitar a los usuarios potenciales de agua, carece de una definición precisa. Esta falta de claridad dificulta que los distintos actores puedan comunicarse efectivamente y comprender las cuestiones relacionadas con el agua y su gestión. Como señalan Peñuela y otros (2015), se pasa por alto el hecho de que el agua subterránea fluye de

una cuenca a otra, cada una con zonas de recarga y descarga, y que la calidad fisicoquímica del agua varía según los factores ambientales.

Según Becerra et al. 2006, los conflictos relacionados con el agua se originan debido a su escasez (demanda versus oferta, aunque los autores no definen estos términos). Es evidente que los principales conflictos asociados con el agua subterránea se relacionan con su disponibilidad y surgen debido a la falta de comprensión del potencial y el comportamiento de esta fuente hídrica.

En el territorio nacional, específicamente la costa peruana presenta escasez de agua superficiales en ciertos sectores, optando por la opción de usar la disponibilidad del agua superficial como alternativa ingenieril para la demanda de uso poblacional de actividades agrícolas de manera sustentable, manejable y de conservación.

Por otra parte, a nivel de cuencas hidrográficas en el Perú la cuenca del río Chicama presenta déficit de agua superficial optando por la opción del uso del agua subterránea de manera controlada y racional, pero se carece de investigaciones innovadoras para poder localizar zonas potenciales de disponibilidad de agua subterránea razón por la cual la presente investigación trata de diseñar un modelo de localización geoespacial para evaluar la disponibilidad de la aguas subterráneas en el ámbito de estudio y de esta forma sea utilizada con fines de actividad agrícola de manera adecuada y sostenible.

La presente investigación tiene como objetivo fin el evaluar la disponibilidad de aguas subterráneas a través del diseño de un modelo de localización geoespacial y que esta a su vez se constituya en una herramienta de análisis multidisciplinario para la toma de decisiones tanto a nivel técnico como de gestión que sirva de modelo guía base para su

aplicación en las demás cuencas hidrográficas dentro del territorio nacional que presenten la misma problemática.

1.1.1. Problema principal

¿De qué manera se podrá evaluar la disponibilidad de aguas subterráneas en la cuenca del río Chicama a través del diseño de un modelo de localización geoespacial?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿En qué medida en realizar el análisis multitemporal de imágenes satelitales LANDSAT 7 y 8 de un periodo de años (2015 – 2021) permitirá evaluar la disponibilidad del agua subterránea?
- ¿En qué medida se podrá elaborar la base de datos geoespacial de aguas subterráneas del ámbito de estudio?
- ¿De qué manera se podrá identificar las zonas potenciales de mayor disponibilidad de aguas subterráneas de la cuenca del río Chicama?

1.2. Antecedentes

1.2.1. Antecedentes Nacionales

Mendoza y Rojas (2013) la investigación empleó diversas técnicas de prospección geofísica, complementadas con el uso de imágenes ASTER, para identificar y delimitar las aguas subterráneas. En la fase experimental, se utilizó información recopilada mediante el sensor ETM+ (ETM es el modelo del sensor de donde proviene la información satelital) de satélite, con imágenes ortorrectificadas y un bajo porcentaje de nubes (inferior al 10%) con fecha del 31 de octubre de 2000.

En relación con la metodología del estudio, se emplearon herramientas de corrección y procesamiento, tales como el ajuste de histogramas, el análisis de componentes principales (PCA), filtros de imágenes, fusiones de imágenes y, por último, la composición de color. Se hizo especial hincapié en la banda térmica (B6). se empleó para calcular la temperatura de la superficie, utilizando algoritmos monocanales y de Barsi. Además, se utilizaron datos del Modelo de Elevación Digital (DEM) ASTER GDEM para corregir topográficamente y obtener información sobre la topografía y la hidrología de la zona de estudio.

Los parámetros como la temperatura de la superficie, la pendiente, la red de drenaje y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) fueron utilizados para clasificar el área de estudio y crear un mapa temático de las zonas con aguas subterráneas. Para validar los resultados, se comparó el mapa temático con el inventario de pozos de aguas subterráneas realizado por la ANA (Autoridad Nacional del Agua) en la zona media-baja de la cuenca Chancay-Lambayeque. Esta comparación confirmó la existencia y validez del método de investigación, con un 99% de los pozos ubicados dentro de las zonas consideradas potencialmente con aguas subterráneas.

Díaz (2018), el estudio llevado a cabo incluyó el cálculo del Índice de Diferencia Normalizada del Agua (NDWI), que está vinculado con la humedad del suelo y la vegetación, seguido del cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para analizar los patrones de vegetación. Además, se estimó la temperatura media superficial del suelo utilizando datos de las bandas 10 y 11 de la imagen Landsat 8. Finalmente, se generó un Modelo Digital de Elevaciones de las pendientes del terreno basado en la imagen ASTER GDEM. Toda esta información se combinó utilizando el método: “árbol de decisiones”, lo que resultó en una certeza del 92% en la precisión de la ubicación de agua subterránea.

El Boletín Serie H: Hidrogeología del INGEMMET, publicado en 2015, aborda los estudios hidrogeológicos regionales de las cuencas de los ríos “Chamán y Jequetepeque” en las regiones de “La Libertad, Lambayeque y Cajamarca”. Este informe presenta diagnósticos temáticos fundamentales, como el inventario de fuentes, que se realizó para evaluar exhaustivamente los sitios donde emergen las aguas del sub suelo a la superficie. No obstante, el inventario se limitó a los principales manantiales constantes (incluyendo los captados), pozos, sondeos y algunos bofedales. Además de diagnosticar, se propusieron intervenciones en las captaciones, recargas de acuíferos con técnicas innovadoras que priorizan la conservación de nuestro medio ambiente. Se identificaron áreas nuevas para ser designadas como parques naturales, especialmente aquellas son dependientes de acuíferos.

1.2.2. Antecedentes Internacionales

Cabana (2019) en su investigación presentó una metodología integral y completamente gratuita, basada en el uso de imágenes térmicas de la banda 10 del satélite Landsat 8. Se llevaron a un análisis estadístico de rango y desviación estándar a lo largo de la zona costera de Castellón y Cataluña en España, con el principal fin de evaluar el potencial de las imágenes térmicas para identificar zonas de Descarga Submarina de Aguas Subterráneas (SGD) en diversos contextos hidrogeológicos del Mediterráneo.

El procesamiento tuvo tres etapas. En la primera etapa, se adquirieron las imágenes térmicas disponibles en el servidor USGS de la NASA para los períodos 2014-2018, con un total de 24 imágenes. Estas imágenes se procesaron utilizando QGIS, convirtiendo la temperatura de brillo a Celsius y eliminando la superficie terrestre para así lograr imágenes de temperatura superficial del mar (SST).

La segunda etapa implicó el análisis estadístico de rango y desviación estándar a partir de un conjunto de imágenes. Se pre filtraron las imágenes comenzando con un conjunto de 14 imágenes, luego reduciendo a 9 y 5 imágenes, valorando aquellas que mostraran datos o indicios de SGD para localizar las posibles zonas de SGD. Además, se midieron las áreas de SGD identificadas utilizando la herramienta IDENTIFY de ArcGIS para estudiar la dispersión de datos en las SGD localizadas.

En la tercera etapa, se contextualizaron hidrogeológicamente las diversas SGD localizadas por medio de fichas de las masas de agua proporcionadas por la Agencia Catalana del Agua (ACA). Este enfoque permitió una evaluación detallada de las SGD en relación con el entorno hidrogeológico específico de la región.

Álvarez et al. (2017) en su estudio, se estimó la recarga del acuífero local para su posterior captación. El procesamiento abarcó la resolución del balance hídrico diario y se estimó por medio de la fluctuación de niveles y el balance del ion cloruro.

Los resultados alcanzados dieron a conocer que el porcentaje de agua de lluvia que va al acuífero varía según el método utilizado. Según la metodología del balance hídrico, se estima que es del orden del 10%. Por otro lado, mediante el análisis de la fluctuación de niveles, se encuentra que oscila entre el 9% y el 16%. En cuanto al método de los cloruros, se calcula en aproximadamente un 4,5%.

Considerando las limitaciones inherentes a cada enfoque, se concluye que, en promedio, el agua de recarga representa alrededor del 10% de la precipitación local. Este hallazgo proporciona información crucial para comprender la dinámica de recarga del acuífero y su disponibilidad para su posterior explotación.

Macas y López (2017) el propósito de esta investigación fue emplear herramientas de SIG y teledetección para delinear áreas propicias para sondear acuíferos en la Demarcación Hidrográfica Puyango Catamayo, usando datos disponibles de forma gratuita. Los datos principales incluyeron un prototipo digital de elevaciones, figuras satelitales, distribución de la lluvia y características geológicas. El procesamiento de la información se basó en el “Análisis de Decisión Multicriterio mediante un Proceso de Análisis Jerárquico” que consideró la permeabilidad de la roca, la precipitación pluvial, La densidad de cursos de agua, la inclinación del suelo y el índice de vegetación de diferencia normalizada se utilizaron como capas temáticas para el análisis. A partir de esta evaluación, se desarrolló un índice que indica el potencial de agua subterránea, el cual se utilizó para generar un mapa correspondiente. Este mapa fue luego cotejado con los datos del inventario de puntos de agua provistos por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología de Ecuador. La contrastación reveló que el porcentaje de puntos de agua son favorables para un sondeo de acuífero en un 70%, mientras que el 30% se encontraba desfavorables.

Sebastián y Núñez (2015) en el estudio realizado, se empleó una metodología que facilita la identificación de zonas con potencial para la recarga de aguas subterráneas mediante el empleo de sensores remotos y sistemas de información geográfica (SIG). La región de enfoque escogida es la Mina Escuela Brillador, perteneciente a la “Universidad de La Serena”, ubicada a una distancia de 13 km de la ciudad de La Serena., debido a la presencia de aguas en su pique principal. Se accedió a imágenes Landsat del área a través de la plataforma Earth Explorer, así como a un Modelo Digital de Elevación (DEM) proporcionado por la plataforma ASTER GDEM. Como parte del procedimiento, se generaron capas temáticas como Densidad de Drenaje, Densidad de Lineamientos,

Vegetación, Pendiente, Exposición Solar y Geología, utilizando SAGA GIS (Sistema para Análisis Automatizados Geocientíficos). Estas capas temáticas se integraron para crear un mapa de Zonas de Recarga Potencial de Aguas Subterráneas en el sector de la mina Brillador, que identifica las áreas de recarga que podrían abastecer de agua a la mina. Este estudio destaca la utilidad de los sensores remotos y los Sistema de Información Geográfico (SIG) en investigaciones hidrogeológicas, demostrando su eficacia para analizar y visualizar patrones y procesos en el ciclo del agua.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar la disponibilidad de aguas subterráneas en la cuenca del río Chicama a través del diseño de un modelo de localización geoespacial.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Realizar el análisis multitemporal de imágenes satelitales tierra y satélite (LANDSAT) 7 y 8 de un periodo de años (2015 – 2021) considerando los índices de vegetación, temperatura del suelo, pendientes y árbol de decisiones.
- Diseñar la base de datos geoespacial de aguas subterráneas del ámbito de estudio
- Identificar las zonas potenciales de mayor disponibilidad de aguas subterráneas de la cuenca del río Chicama.

1.4. Justificación

La disponibilidad de aguas subterráneas se constituye como un factor primordial para el uso de demanda poblacional, así como para el uso de actividades agrícolas de comunidades del territorio nacional.

El desarrollo de la presente investigación abarca dos conceptos y aspectos importantes:

Por un lado, la identificación y distribución de aguas subterráneas en zonas donde se carece del abastecimiento del recurso hídrico y por otro lado el uso adecuado que se le puede dar para el desarrollo de otras actividades entre ellas la actividad agrícola a nivel de cuencas.

La presente investigación tiene como objetivo fin el evaluar la disponibilidad de aguas subterráneas a través del diseño de un modelo de localización geoespacial y que esta a su vez se constituya en una herramienta de análisis multidisciplinario para la toma de decisiones tanto a nivel técnico como de gestión que sirva de modelo guía base para su aplicación en las demás cuencas hidrográficas dentro del territorio nacional que presenten la misma problemática.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

El diseño del modelo de localización geoespacial permitirá evaluar de una manera adecuada la disponibilidad de aguas subterráneas en la cuenca del río Chicama.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases Teóricas sobre el tema de investigación

2.1.1. Ciclo Hidrológico

Prácticamente la totalidad del agua subterránea presente en nuestro planeta se origina a partir del ciclo hidrológico, un sistema que dirige el flujo del agua desde los océanos y mares hacia nuestra atmósfera; a su vez, de regreso a los continentes, el cual retorna tanto en forma superficial como subterránea hacia los cuerpos de agua principales. Los procesos dentro del ciclo hidrológico están influenciados principalmente por factores climáticos, tales como la “temperatura del aire”, la “intensidad de los vientos”, la “humedad relativa del aire” y la exposición solar, así como por las características de la cobertura vegetal, incluyendo su tipo y densidad. Estos elementos interrelacionados determinan la distribución y movilidad del agua en la superficie terrestre, regulando así su disponibilidad y comportamiento tanto en el medio ambiente como en los sistemas acuíferos subterráneos.

2.1.2. El Agua Subterránea

Es aquella que se alberga y hace su recorrido bajo la superficie terrestre formando acuíferos, tiene su principal fuente de aporte en el agua de lluvia infiltrada en el suelo, también podemos incluir los lagos, ríos y lagunas como fuentes de alimentación. Esta agua que se encuentra bajo el nivel freático, ocupando los espacios entre los poros y las grietas del suelo, fluyendo de forma natural hacia la superficie por medio de vertientes, manantiales o cauces fluviales. En cuanto al movimiento de las aguas subterráneas va desde zonas de recarga hasta zonas de descarga, con velocidades que pueden variar desde unos pocos metros por año hasta varios metros por día. Debido a esto, los tiempos de residencia del agua

subterránea suelen ser prolongados, lo que resulta en grandes volúmenes de almacenamiento, característicos de este recurso hídrico.

En un perfil del subsuelo, generalmente se identifican dos zonas con características hidráulicas distintas, divididas en varias franjas o capas. La parte más superficial se conoce como zona de aireación o no saturada y la más profunda se llama zona de saturación.

Zona no saturada:

También llamada zona de aireación, esta área se sitúa entre la superficie del suelo y el nivel freático, y en sus poros y grietas se encuentran agua y aire. Esta región se divide en tres partes:

a) Zona de evapotranspiración o zona edáfica: Su espesor varía, alcanzando las raíces de la vegetación. Conocida por tener una amplia gama de procesos físicos, químicos y biológicos, esta zona es rica en materia orgánica (horizonte A del suelo) y alberga una intensa actividad biológica de microorganismos que generan una alta producción de CO₂, lo que la convierte en un filtro natural efectivo contra contaminantes como metales y plaguicidas.

b) Zona intermedia: Ubicada entre el límite de ascenso capilar del agua y el alcance de las raíces de las plantas.

c) Zona capilar: Ubicada desde el nivel freático hasta el punto donde el agua alcanza su límite de ascenso capilar, su espesor varía según el tamaño de los poros y la uniformidad del terreno.

Zona saturada:

La zona saturada se encuentra debajo de la superficie freática y está compuesta por poros existentes en el terreno, los cuales están completamente ocupados de agua.

2.1.3. Características químicas del agua subterránea

Los procesos y diversos factores los cuales afectan la calidad del agua subterránea pueden clasificarse como intrínsecos y extrínsecos al acuífero. Por un lado, el agua subterránea tiende a acumular sustancias disueltas a medida que se filtra y atraviesa los distintos estratos del acuífero. Además, se encuentran factores climatológicos, composición del agua de recarga, entre otros, también intervienen en la composición del agua subterránea. Por otro lado, la contaminación causada por actividades humanas es otro factor crucial que puede afectar significativamente la calidad del agua subterránea.

Características físicas

Temperatura: La temperatura del agua subterránea suele ser relativamente estable y se encuentra influenciada por la temperatura atmosférica promedio del lugar. A medida que se profundiza, la temperatura aumenta de acuerdo con el gradiente geotérmico, que generalmente aumenta aproximadamente 1 grado Celsius por cada 30 metros de profundidad.

Conductividad eléctrica: La capacidad del agua para transportar corriente eléctrica se conoce como conductividad eléctrica, y su medida varía en función de la concentración de sales disueltas en forma de iones y la temperatura. Normalmente se expresa en unidades de micromhos por centímetro ($\mu\text{mho/cm}$) y suele situarse en el orden de 10^{-6} mhos/cm, a una temperatura de 25°C.

Color: El color del agua está determinado por las sustancias disueltas derivadas de la descomposición de materia orgánica.

Olor y sabor: Estos dos parámetros estrechamente relacionados y, a menudo, lo que se percibe como "sabor" en realidad un olor. Se considera subjetivos, donde un sabor salado se

son aguas con más de 300 mg/l de cloruros, mientras que aquellas con más de 400 mg/l de sulfatos pueden tener un sabor salado y amargo.

Turbidez: Es un indicador de la dificultad que presenta para dejar pasar la luz debido a la presencia de partículas sólidas en suspensión, las cuales obstaculizan el paso de la luz a través del líquido.

Características químicas

El pH es una medida que refleja la concentración de iones de hidrógeno en una solución acuosa, determinada por procesos químicos y el equilibrio de los iones presentes. En aguas subterráneas, el pH usualmente se encuentra en el rango de 6.5 a 8.5, indicando un nivel de acidez a alcalinidad.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es una medida que evalúa la capacidad del agua para consumir oxígeno durante reacciones químicas. En los acuíferos, los valores típicos de DQO varían entre 1 y 5 mg/l de O₂, lo que proporciona información sobre la presencia de sustancias químicas susceptibles de oxidación en el agua.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): La DBO representa el total de oxígeno requerida para descomponer la materia orgánica presente en el agua mediante procesos biológicos aeróbicos. Este parámetro es una medida crucial de la contaminación del agua y se expresa en términos de concentración de oxígeno disuelto necesario para satisfacer la demanda biológica. Valores de DBO superiores a 1 parte por millón (ppm) de O₂ indican la presencia de contaminantes orgánicos y una mayor carga de materia orgánica en el agua.

2.1.4. Calidad del agua subterránea

Es la condición del agua según sus características, este permite establecer clasificaciones de calidad de agua, según las normas establecidas y su uso.

2.1.5. Contaminación del agua subterránea

La contaminación del agua se define como la alteración de sus características físicas, químicas y biológicas, causada por procesos tanto naturales como artificiales, que resultan en efectos no deseados. Esta contaminación puede tener un origen natural, como la interacción con formaciones sedimentarias marinas o salinas, yacimientos de metales, radiactivos o de petróleo, donde las sustancias presentes en estas formaciones se incorporan al agua subterránea.

Por otro lado, la contaminación de origen artificial es más frecuente y puede clasificarse según el lugar donde ocurre (urbano o rural) o la actividad que la genera (doméstica, industrial, agropecuaria). En entornos urbanos, surge de vertidos domésticos, escapes en redes de alcantarillado, lixiviados de vertederos e industriales, entre otras fuentes. En áreas rurales, la contaminación se relaciona con el uso excesivo de agroquímicos y la presencia de desechos no tratados de granjas y corrales.

Además, existe la contaminación artificial inducida, que ocurre por la sobreexplotación de pozos costeros generando la salinización del agua subterránea. Detectar la contaminación de un acuífero es complicada, ya que no se visualiza fácilmente, lo que puede provocar una mayor permanencia del contaminante en el medio. Una vez detectada, es crucial identificar la fuente de contaminación, el tipo de contaminante, su movilidad, toxicidad y persistencia para tomar medidas adecuadas de mitigación y restauración del acuífero afectado.

2.1.6. Captación de las aguas subterráneas

La extracción de agua subterránea se lleva a cabo principalmente a través de pozos verticales, así como mediante métodos horizontales como galerías filtrantes y zanjas de drenaje. Estas estructuras, especialmente los pozos, representan obras de ingeniería complejas diseñadas y construidas específicamente para extraer agua del subsuelo de un acuífero, con el propósito de cumplir una necesidad hídrica.

El rango de vida útil de un acuífero puede extenderse durante años, proporcionando un suministro constante de agua. Sin embargo, una vez que se agota su capacidad para producir agua en cantidades suficientes o de calidad adecuada, es necesario con el proceso de abandono del pozo con un sellado adecuado para evitar la contaminación del acuífero y garantizar la seguridad del entorno. Este sellado es una medida crucial para preservar la calidad del agua subterránea y proteger los recursos hídricos subterráneos a largo plazo.

Pozos verticales

Abiertos, excavados o brocales:

La construcción de estos pozos se realiza de manera manual, con diámetros considerablemente amplios, generalmente superiores a 1 metro. Es factible excavar hasta lograr el nivel freático.

Perforados o tubulares:

Llamados también pozos semi urgentes, son mayormente utilizados en la captación de agua subterránea. Para su construcción se utiliza maquinas perforadoras con diferentes sistemas, usualmente tiene perforaciones de un diámetro reducido de 6 a 12 pulgadas.

2.2. Marco Conceptual

A. Aguas subterráneas

Las aguas subterráneas son aquellas masas de agua que se encuentran debajo de la superficie terrestre y desempeñan un papel crucial en el ciclo hidrológico. Se originan principalmente a partir de la infiltración de diversas fuentes, como la lluvia, la nieve, el agua proveniente de lagos y ríos, y cuando la capa superficial del suelo se satura de agua.

Desde la perspectiva del ciclo hidrológico, las aguas subterráneas se clasifican en tres categorías principales:

Aguas meteóricas, que se infiltran en el suelo y son absorbidas por las plantas antes de ser liberadas nuevamente a la atmósfera a través de la transpiración o evaporación, o descargadas en cuerpos de agua superficiales como manantiales, ríos y lagos.

Aguas fósiles, que son aguas altamente salinas atrapadas en formaciones geológicas y no están activamente involucradas en el ciclo hidrológico.

Aguas magmáticas, estas provienen de profundidades extremas y pueden hacer su incorporación al ciclo hidrológico durante eventos como erupciones volcánicas y géiseres.

En términos de su ubicación en el suelo, las aguas subterráneas se dividen en dos categorías:

Aguas edáficas, ubicadas en la zona de aireación del suelo y se retienen por capilaridad entre las partículas del suelo, desempeñando un papel crucial en el desarrollo de la vegetación.

Aguas freáticas, que se encuentran en la zona de saturación del suelo y representan la capa superior de agua subterránea accesible mediante perforaciones. Esta capa es particularmente susceptible a la contaminación causada por actividades humanas.

B. Bandas espectrales

La capacidad de los satélites para recibir información se basa en la detección de rangos específicos del espectro electromagnético. Aunque las longitudes de onda pueden variar según los instrumentos de cada satélite, se pueden identificar varios rangos comunes y sus aplicaciones:

Azul: Rango de aproximadamente 450 a 515 o 520 nm, utilizado para capturar imágenes de la atmósfera y aguas profundas, alcanzando hasta 150 metros de profundidad en aguas claras.

Verde: Rango de aproximadamente 515 o 520 a 590 o 600 nm, útil para imágenes de vegetación y estructuras en aguas profundas, con alcances de hasta 90 pies en aguas claras.

Rojo: Rango de aproximadamente 630 a 680 nm, empleado para capturar imágenes de objetos hechos por el hombre, suelo, vegetación y aguas superficiales hasta 30 metros de profundidad.

Infrarrojo cercano: Rango de aproximadamente 750 a 900 nm, principalmente utilizado para imágenes de vegetación.

Infrarrojo medio: Rangos de aproximadamente 1550 a 1750 nm y 2080 a 2350 nm, empleados para imágenes de vegetación, contenido de humedad del suelo, características geológicas, entre otros.

Infrarrojo térmico: Rango de aproximadamente 10,400 a 12,500 nm, utilizado para obtener diferencias de temperatura en corrientes de agua, siniestros y estudios nocturnos.

La herramienta de radar es utilizada para la identificación de terrenos y la detección de diversos objetos. Para diferentes propósitos, se pueden utilizar combinaciones específicas de

bandas espectrales, como verdadero color, verde-rojo-infrarrojo y azul-NIR-MIR, según las necesidades de la imagen y las preferencias del analista. Cada combinación tiene aplicaciones particulares, desde el análisis de objetos hechos por el hombre hasta la detección de vegetación, humedad del suelo y profundidad del agua.

C. Base de datos geoespacial

Conlleva a un conjunto de datos que tienen relación y pueden ser procesados por uno o más sistemas de aplicación. Esta capacidad ayuda a prevenir varios problemas, como la redundancia de datos, el control deficiente de los mismos, la manipulación inadecuada y la programación excesiva. En contraste, trabajar con una base de datos ofrece ventajas significativas, como la estructuración de datos, la división de datos y procesos, la integridad de los datos y su durabilidad a largo plazo.

D. Cuenca Hidrográfica

Una cuenca hidrográfica es el área de tierra donde toda el agua superficial fluye hacia un único punto de desembocadura en el mar, estuario o delta, a través de una red de corrientes, ríos y, en ocasiones, lagos. Esta unidad de gestión de recursos se considera una entidad integral y está formada por subcuencas, áreas de tierra asociadas a un curso de agua particular que desemboca en un nuevo cuerpo de agua, ya sea un lago o confluencia de varios ríos.

En el ciclo del agua, la denominada cuenca hidrográfica se forma mediante la acumulación de precipitaciones pluviales en pequeños canales que crean vertientes, dando lugar a múltiples cursos de agua temporales. Parte del agua de lluvia se evapora o se infiltra en el suelo, mientras que el resto fluye cuesta abajo. En el caso de cuencas grandes, se puede generar una corriente permanente de agua debido a las corrientes superficiales y subterráneas, lo que resulta en la formación de una cuenca hidrográfica completa.

La cuenca hidrográfica se divide en tres partes distintas:

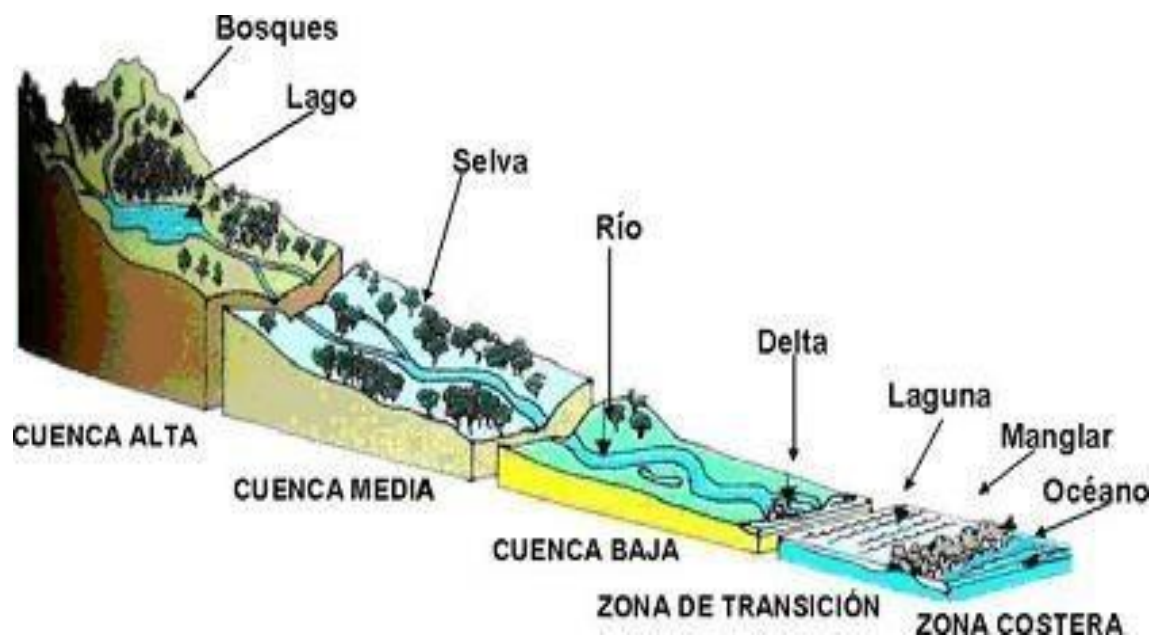
La cuenca alta, situada en las zonas de laderas y montañas, donde se encuentra el nacimiento del río principal.

La cuenca media, que abarca el valle del río y suele caracterizarse por meandros.

La cuenca baja, localizada en zonas bajas donde los ríos pierden velocidad, depositan sedimentos y forman llanuras.

Figura 1

Partes de una cuenca hidrográfica



Nota: Adaptado por Ordoñez (2011)

E. Geodatabase

El Geodatabase es un modelo estándar desarrollado para manejar datos geoespaciales, almacenando objetos geográficos, sus atributos y relaciones, tanto espaciales como no espaciales, así como el comportamiento de cada elemento. Este modelo facilita la transición de capas temáticas, que son conjuntos de elementos geográficos, a entidades del mundo real, como redes de carreteras o sistemas de alcantarillado., redes eléctricas, entre otros, incorporando el concepto de entidad para elementos como transformadores, carreteras o cuerpos de agua. La utilidad de este concepto radica en la capacidad de realizar análisis espaciales de manera efectiva.

Una de las principales ventajas y facilidades de trabajar con un Geodatabase es su capacidad de acceso a multiusuarios, así como su compatibilidad con diversos sistemas gestores de bases de datos oficiales, como Oracle, Informix, SQL Server, IBM DB2 y Microsoft Access.

El Geodatabase opera bajo una estructura que incluye varios componentes:

Dataset: Define las especificaciones para un feature class, un catálogo raster o una tabla de atributos, estableciendo la estructura y organización de los datos geoespaciales.

Dominios: Permiten establecer el rango de valores válidos para los atributos, controlando el comportamiento del software para garantizar la integridad de los datos y la consistencia en su ingreso.

Relaciones: Se establecen entre atributos, definiendo cómo las columnas se relacionan con otras tablas y especificando la dirección y la cardinalidad de estas relaciones.

Reglas Espaciales: Modelan cómo los elementos se relacionan geoméricamente con otros objetos, permitiendo establecer reglas topológicas complejas que gobiernan la interacción espacial entre entidades.

Capas de Mapas: Incluyen mapas interactivos y determinan la representación visual de los objetos mediante símbolos específicos para cada tipo de entidad, facilitando la visualización y comprensión de los datos geoespaciales.

F. Modelos de localización geoespacial

La teoría de la localización aborda el problema de determinar la ubicación de instalaciones de servicios, con el objetivo de lograr una doble finalidad en los estudios: por un lado, encontrar la ubicación óptima y, por otro, asignar la demanda a dichas instalaciones. Para abordar esta doble necesidad, se han desarrollado modelos de localización-asignación. Estos modelos, según (Ramírez y Bosque-Sendra, 2001) presentan las siguientes características generales:

a Son modelos matemáticos, ya que se considera que este enfoque es adecuado para capturar la realidad.

b Son modelos meso-espaciales, dado que los aspectos a resolver están claramente delimitados en un territorio.

c Son modelos normativos, puesto que buscan encontrar la mejor solución a un problema específico.

En resumen, estos modelos buscan evaluar las ubicaciones actuales de los centros de servicio en función de la distribución de la demanda y proponer opciones que permiten lograr

una distribución espacial más eficiente y equitativa. Se centran en encontrar las ubicaciones óptimas (localización) y determinar las mejores formas de asignar la demanda (asignación). En los últimos años, la aplicación de estos modelos, aunque se basa en entornos de Sistemas de Información Geográfica, se ha enmarcado en sistemas específicos denominados Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial (SADE).

G. Procesamiento de Imágenes Satelitales

Este procesamiento consiste en manipulación e interpretación de imágenes; incluye lo siguiente:

✓ Preprocesamiento

El preprocesamiento es la etapa inicial que se encarga de corregir distorsiones radiométricas y un tanto geométricas de la imagen, así como de eliminación de ruido. Las distorsiones radiométricas están causadas por interferencias atmosféricas y alteran valores de brillo en los píxeles. Para corregirlas, se aplican modelos físicos basados en el comportamiento de las radiaciones, lo que implica un análisis científico detallado y el uso de complejos programas informáticos y bases de datos meteorológicos. Sin embargo, para simplificar su aplicación, se recurre a metodologías prácticas como la corrección atmosférica mediante histogramas de las imágenes espectrales.

El realce es un proceso que mejora la interpretación visual de una imagen de forma significativa. Se divide en dos categorías: “operaciones de punto”; que modifican el brillo y luminosidad de cada píxel de forma independiente, lo que resulta en un estiramiento de contraste; operaciones locales las cuales filtran el valor de cada píxel basándose en los valores de los píxeles cercanos a este.

Filtrado espacial

Está asociada a la representación de una imagen en el dominio de frecuencias

H. Resolución de Imágenes Satelitales

Los sistemas que hacen percepción remota ofrecen diferentes tipos de resolución, que incluyen la resolución espectral temporal, radiométrica y espacial.

La resolución espacial se define por el nivel de detalle visible en una imagen, determinado por el área terrestre representada por cada píxel. A menor área por píxel, mayor es la resolución espacial y más detalles se pueden captar. La influencia atmosférica y las características del objeto y su entorno también influyen en la resolución espacial.

La resolución espectral está relacionada con el número y la amplitud de las bandas espectrales que son registradas por diversos sensores.

La resolución temporal indica las frecuencias con la que un satélite captura imágenes de una determinada área, también conocida como intervalo de revisita.

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

La investigación es del tipo Aplicada

El diseño de la investigación es No experimental y longitudinal de tendencia (ya que toma en cuenta un rango de años definidos desde 2015 al 2021).

3.2. Ámbito temporal y espacial

3.2.1. Ubicación

El ámbito espacial corresponde a la cuenca del río Chicama y el ámbito temporal al análisis de la disponibilidad de aguas subterráneas a través de un diseño de modelo de localización geoespacial empleando para ello una serie de imágenes LANDSAT 7 y 8 correspondiente al rango de años definido (2015 al 2021).

3.3. Variables

Tabla 1

Operacionalización de variables de la investigación

Variables	Indicadores	Instrumentos
VI: Diseño de un modelo de localización geoespacial	Diagramas causales	Software GIS
	Estructura de base de datos geoespacial	Software GIS
	Medidas de tendencia y margen de error	Software GIS
	Análisis de Firmas espectrales	Observación directa / Imágenes Satelitales

V2: Evaluación de Índice Normalizado de Vegetación Imágenes Satelitales

la disponibilidad de – NDWI

aguas subterráneas Indica de diferencia normalizada

de agua - NDWI

Superficies estimadas de aguas Imágenes Satelitales

subterráneas

3.4. Población y muestra

La población de estudio abarca un área total de 4,518.04 km² correspondiente a la cuenca del río Chicama. De esta extensión total, el 42% (1,897.58 km²) corresponde a la cuenca húmeda.

El curso principal de la cuenca Chicama sigue una dirección noroeste desde las nacientes del río Huancay, donde el río Chicama se origina como río Perejil y conserva ese nombre hasta Coina. A partir de allí, adquiere el nombre de río Huancay hasta su confluencia con el río Chuquillanqui. Luego, cerca de la localidad de Panana, a 700 metros sobre el nivel del mar, específicamente desde la hacienda El Tambo, se dirige en dirección sureste con el nombre de río Chicama, con una longitud de 169.2 km, hasta su desembocadura en el Océano Pacífico. Este río exhibe un régimen irregular, con crecidas que se producen durante los meses de diciembre a mayo y períodos de estiaje durante el resto del año.

Tabla 2

Provincias y distritos que comprende la Cuenca del río Chicama

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO
LA LIBERTAD	Santiago de Chuco	Quiruvilca
		Santiago de Cao
		Magdalena de Cao
		Chocope
		Chicama
	Ascope	Ascope
		Casa Grande
		Gran Chimú
		Compín
		Lucma
	Otuzco	Sayapullo
		Cascas
		Charat
		Otuzco
		Usquil
CAJAMARCA	Contumaza	Sinsicap
		Huaranchal
		San Benito
	Cajamarca	Guzmango
		Contumaza
		Cospan

En cuanto a la muestra, se utilizará la serie completa de imágenes satelitales LANDSAT, teniendo en cuenta las firmas multiespectrales y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), así como componentes principales del agua, temperatura y pendiente. La unidad mínima de análisis será de 15 x 15 metros por píxel.

3.5. Instrumentos

- Carta Nacional correspondiente al ámbito de estudio - IGN
- Imágenes satelitales LANDSAT 7 y 8 correspondiente a los años 2015 al 2021
- DEM ASTERGDEM 12.5 m de resolución espacial
- Cartografía de Unidades Hidrográficas del Perú - ANA

- Mapa Hidrogeológico de la Cuenca del Rio Chicama – INGEMMET
- Información socioeconómica del ámbito de estudio – INEI CENSO 2017
- Softwares ARCGIS 10.7.1 y ENVI 5.3

3.6. Procedimientos

Los procedimientos de aplicación para el desarrollo de la presente investigación se abarcarán en relación a los sgtes. puntos a desarrollar, tenemos:

FASE I

A. Ubicación Geográfica

La unidad hidrográfica Chicama la cual está ubicada en la región norte del Perú, comprendida entre paralelos “7° 21’ y 7° 59’ latitud sur” y los meridianos “78° 14’ a 79° 20’ de longitud oeste”, según el “Sistema de Coordenadas Geográficas” WGS 1984. Además, WGS 1984 (UTM), se sitúa en la zona 17 se ubica E: 805463.4, N: 9186615.5 y E: 683697.8 y N: 9117173.5.

La unidad hidrográfica Chicama limita en el norte con la cuenca Jequetepeque, al sur con la cuenca Moche, al este con la cuenca Marañón y al oeste con el Océano Pacífico. Su área total es de 4 493,74 Km² con un perímetro de 427,08 Km². Desde una perspectiva política, la cuenca abarca veintiún (21) distritos, de los cuales cinco (05) pertenecen al departamento de Cajamarca y dieciséis (16) al departamento de La Libertad. La Tabla 03 muestra la distribución espacial de la unidad hidrográfica Chicama y los distritos que la componen.

Tabla 3*Ubicación política de la U. H. Chicama, 2022*

Departamento	Provincia	Distrito	Área distrital (km ²)	Área distrital U. H. (km ²)	Porcentaje del distrito en la U. H. (%)
Cajamarca	Cajabamba	Cachachi	814,29	2,54	0,31
	Cajamarca	Cospan	550,17	516,89	93,95
	Contumazá	Contumazá	350,22	76,59	21,87
		San Benito	484,08	483,90	99,96
		Guzmango	50,14	33,65	67,12
la libertad	Ascope	Ascope	296,23	162,23	54,76
		Casa Grande	655,67	5,32	0,81
		Chicama	892,25	718,22	80,49
		Chocope	98,78	16,72	16,93
		Magdalena De Cao	159,41	13,95	8,75
		Santiago De Cao	135,29	45,35	33,52
	Gran Chimú	Cascas	464,37	464,37	100,00
		Lucma	286,18	286,18	100,00
		Marmot	298,66	298,57	99,96
		Sayapullo	233,35	233,24	99,95
	Otuzco	Charat	65,50	64,86	99,02
		Huaranchal	134,50	134,47	99,98
		Otuzco	400,15	147,69	36,91
		Sinsicap	451,35	306,37	67,88
		Usquil	465,08	432,41	92,97
	Santiago de Chuco	Quiruvilca	551,81	50,11	9,08

Nota: Adaptado del XII Censo de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, INEI, 2017, IGN, Instituto Geográfico Nacional, al 2020.

La unidad hidrográfica Chicama perteneciente al ámbito de la “Autoridad Administrativa del Agua” (AAA) Huarmey Chicama. La entidad encargada de regular el adecuado uso de los diversos recursos hídricos en esta unidad hidrográfica es la Administración Local de Agua Chicama.

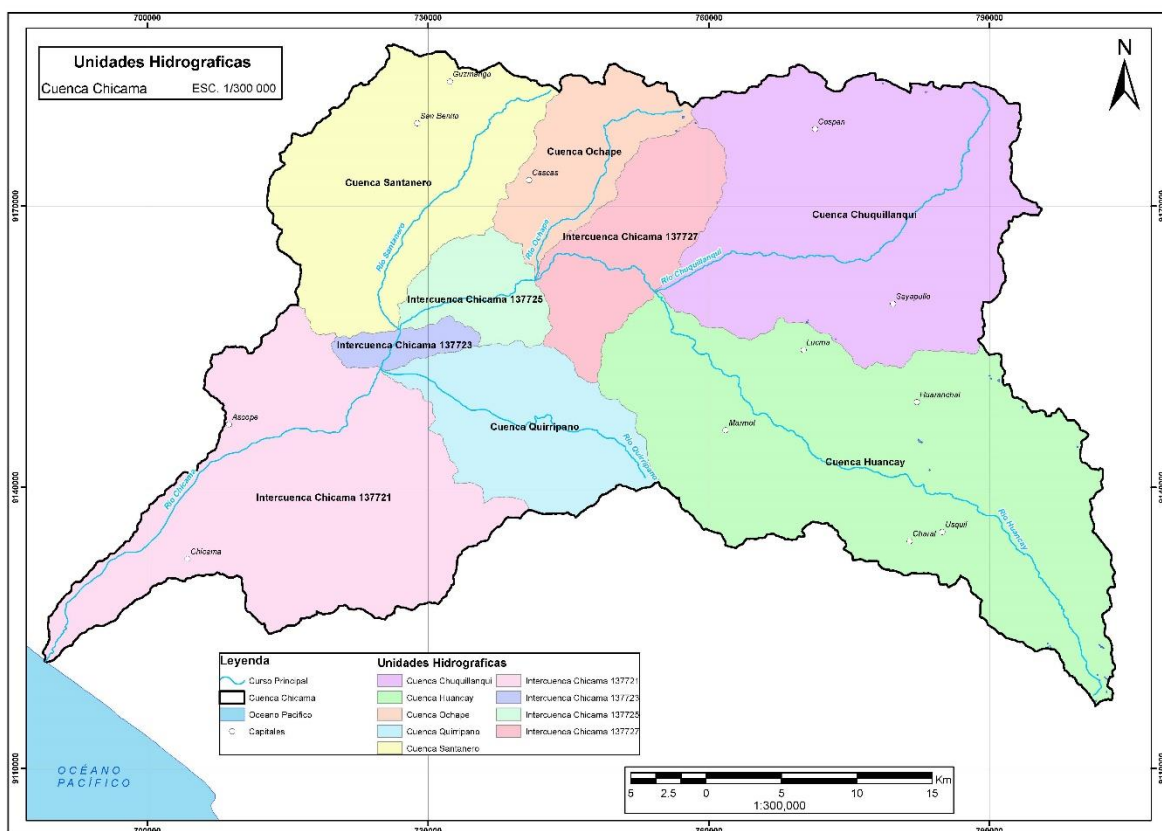
B. Hidrografía

La unidad hidrográfica Chicama, identificada con el código Pfafstetter 13772, forma parte de la vertiente hidrográfica del Pacífico y tiene una superficie de drenaje de 4 493,74

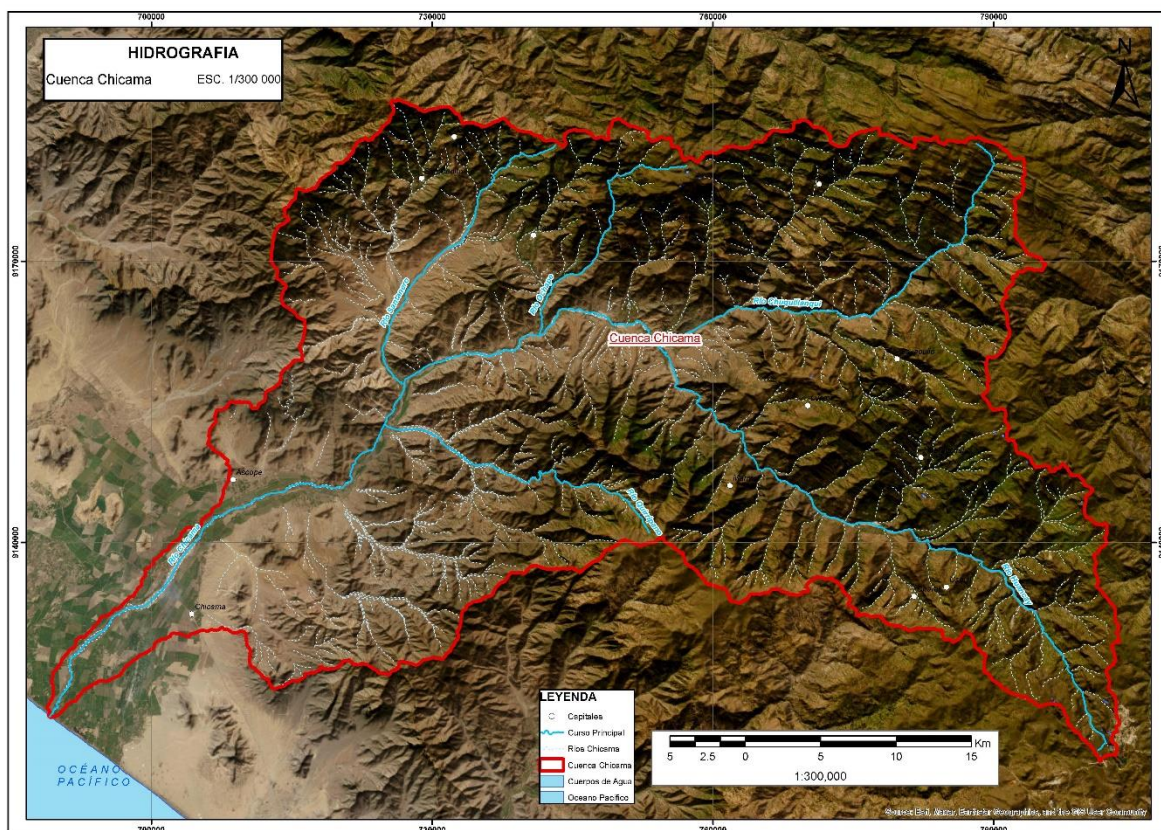
km². forma parte de la vertiente hidrográfica del Pacífico y tiene una superficie de drenaje de: Alto Chicama 137729 (1178,46 Km²), Chuquillanqui 137728 (905,81 Km²), Medio Alto Chicama 137727 (268,94 Km²), Ochape 137726 (214,22 Km²), Medio Chicama 137725 (134,29 Km²), Santanero 137724 (561,97 Km²), Medio Bajo Chicama 137723 (51,46 Km²), Quirripano 137722 (325,92 Km²), Bajo Chicama 137721 (852,63 Km²).

Figura 2

Vista general de la unidad hidrográfica Chicama



Nota. Adaptado de Hidrografía del Perú a escala 1:100 000, Instituto Geográfico Nacional, 2018, Observatorio del agua, Autoridad Nacional del Agua, 2022

Figura 3*Hidrografía adaptada a la cuenca Chicama*

Nota. Adaptado de Hidrografía del Perú a escala 1:100 000, Instituto Geográfico Nacional, 2018, Observatorio del agua, Autoridad Nacional del Agua, 2022.

La unidad hidrográfica Chicama comprende diferentes quebradas, ríos y lagunas; la mayor fuente de recarga de esta unidad hidrográfica se da en la parte superior. A continuación, se presenta un resumen de ríos y quebradas tributarias.

C. Hidrología

La evaluación de la oferta hídrica en la unidad hidrográfica Chicama con respecto al promedio anual se ha realizado utilizando la información hidrológica de cinco estaciones, que son: Cajayragra, Salinar, Malin, Tambo y Cascabamba. Estas estaciones están distribuidas tanto en la parte baja como en el alta de la cuenca. La estación de Cajayragra se encuentra ubicada aguas abajo de la Quebrada Seca (QS) Mónica, antes de la confluencia

con el río Chicama en la Unidad Hidrográfica de nivel 6 Bajo Chicama. La estación Salinar está situada en la parte baja de la cuenca Chicama, en la margen derecha aguas debajo de la confluencia del río Quirripango y el río Chicama en la Unidad Hidrográfica de nivel 6 Bajo Chicama. Los datos generales de cada estación se presentan en el cuadro siguiente.

Tabla 4

Estaciones Hidrométricas, Cuenca Chicama al 2022

N.º	Nombre de Estación - Código	Distrito		Coordenadas	Altitud	Tipo	Cuerpo de Agua		Variables	Estado
		Provincia	Departamento				Tipo de U. H. N5	Nombre U. H. N6		
1	Cajayragra	Chicama		Latitud: - 321	Hidrométrica	Qs. Monica	Cuenca Chicama	Caudal Promedio	Inoperativa	
		Ascope		Longitud: - 79.029427						
		La Libertad		Zona 17						
2	Salinar	Ascope		Latitud: - 350	Hidrométrica	Río Chicama	Cuenca Chicama	Caudal Promedio	Operativa	
		Ascope		Longitud: - 78.966667						
		La Libertad		Zona 17						
3	Malin	Marmot		Latitud: - 850	Hidrométrica	Río Huancay	Cuenca Chicama	Caudal Promedio	En Implementación	
		Gran Chimú		Longitud: - 78.6589						
		La Libertad		Zona 17						
4	El Tambo	Lucma		Latitud: - 950	Hidrométrica	Río Chicama	Cuenca Chicama	Caudal Promedio	En Implementación	
		Gran Chimú		Longitud: - 78.6333						
		La Libertad		Zona 17						
5	Cascabamba	Contumazá		Latitud: - 3331	Hidrométrica	Río Ochape	Cuenca Chicama	Caudal Promedio	Operativa	
		Contumazá		Longitud: - 78.7338						
		Cajamarca		Zona 17						

Nota: Adaptado a la U. H. Chicama 2022, Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos, 2022.

En la Tabla 4 se presentan las estaciones hidrométricas que se encuentran en diferentes estados de operación: Cajayragra está inoperativa, Malín y El Tambo están en proceso de implementación, y Salinar y Cascabamba están operativas. Para evaluar la cantidad de agua disponible en la cuenca, se proporcionan los datos identificados en las estaciones Salinar y Cascabamba, que representan la cantidad de agua que fluye a través de la cuenca Ochape y la parte media-baja de Chicama, respectivamente.

D. Climatología

Los factores climáticos tienen un impacto significativo en las propiedades físicas y químicas de las peñas y diversos materiales que constituyen los diferentes taludes de la cuenca. El clima predominante en la Unidad Hidrográfica Chicama es árido y presenta una deficiencia de humedad durante todo el año. De acuerdo a la clasificación climática de “Thornthwaite” y una pequeña descripción de los climas existentes en el territorio nacional (ver Tabla 5), se pueden distinguir los siguientes tipos de clima, basados en los índices según el método de clasificación.

Tabla 5

SENAMHI - Tipos de Clima en la Unidad Hidrográfica Chicama

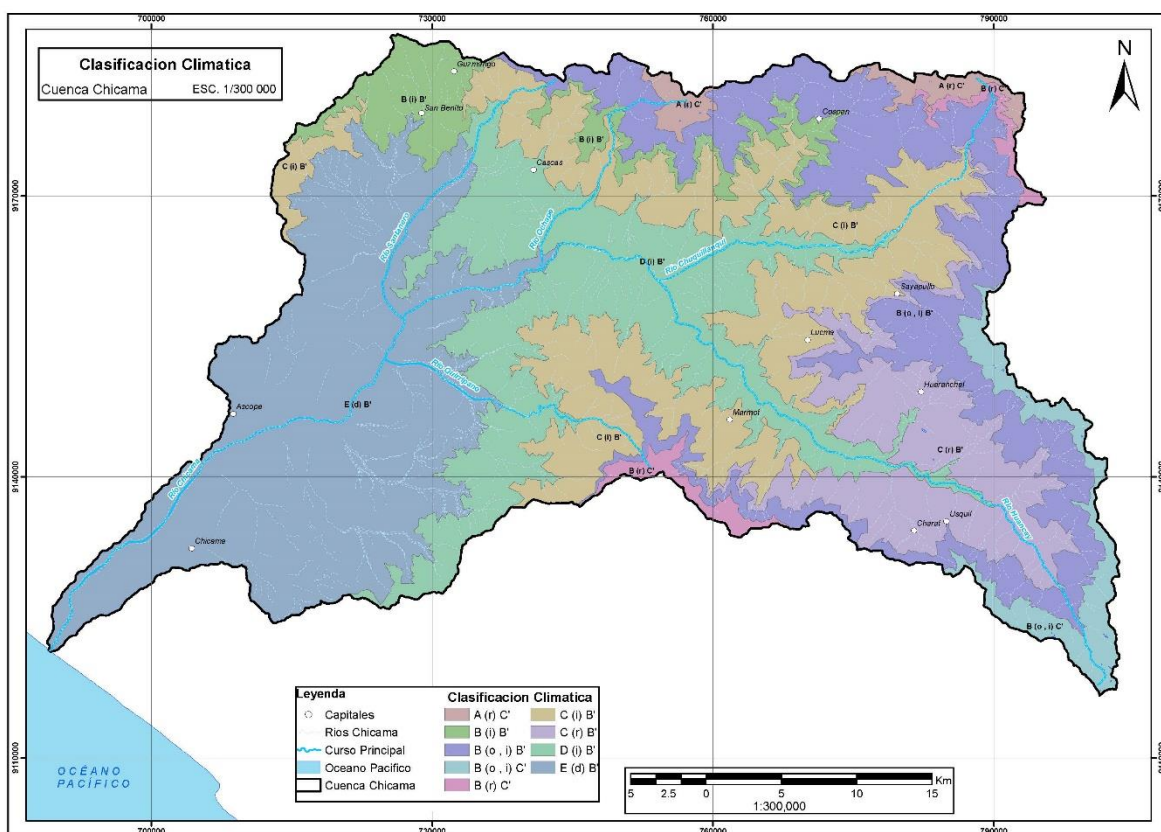
N.º	Código	Descripción	Área en UH Cuenca Chicama	%Porcentaje
1	E (d) B'	Árido con deficiencia de humedad en todas las estaciones del año. Templado	1 205,52	26,83%
2	C (i) B'	Semiseco con invierno seco. Templado	833,58	18,55%
3	D (i) B'	Semiárido con invierno seco. Templado	834,03	18,56%
4	B (o , i) B'	Lluvioso con otoño e invierno secos. Templado	699,07	15,56%
5	C (r) B'	Semiseco con humedad abundante todas las estaciones del año. Templado	432,53	9,63%
6	B (i) B'	Lluvioso con invierno seco. Templado	220,34	4,90%
7	B (o , i) C'	Lluvioso con otoño e invierno secos. Frío	139,93	3,11%

8	A (r) C'	Muy lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año. Frío	64,61	1,44%
9	B (r) C'	Lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año. Frío	64,13	1,43%

Nota: Adaptado de climas del Perú, mapa de clasificación climática nacional, SENAMHI, 2020.

Figura 4

Clasificación climática, Chicama, al 2022



Nota: Adaptado del catálogo de metadatos cartográficos, mapa de clasificación climática del Perú, 2020. Mapa de visor de datos hidrometeorológicos a nivel nacional, SENAMHI, 2022.

E. Geología

La Tabla 6 contiene información de la unidad hidrográfica Chicama extraídos del mapa geológico del Perú a escala 1:1 000 000.

La geología en la unidad hidrográfica Chicama, nos brinda una idea, de que tantas formaciones geológicas se cuenta, como podemos identificar, las formaciones geológicas son diversas el cual están precisadas en el cuadro que antecede, por lo cual se evidencia la probabilidad de que, en diferentes zonas de la cuenca, la misma geología, pueda alterar de alguna manera a la calidad del agua.

Tabla 6

Geología, unidad hidrográfica Chicama

Símbolo	Unidad	Área (km²)	Porcenta je %
Nm-pcE7	Centro Volcánico Payhual Caupar - Evento 7	3.594544	0.08%
Pe-hiE2a	Centro Volcánico Higuierón - Evento 2a	2.081879	0.05%
Po-cgE2	Centro Volcánico Cruz Grande - Evento 2	1.190842	0.03%
Po-chu/14	Centro Volcánico Chuño-Chinchin - Evento 1	3.942886	0.09%
Po-chu/54	Centro Volcánico Chuño-Chinchin - Evento 5	1.076409	0.02%
Po-pgE1	Centro Volcánico Piedra Grande - Evento 1	1.001508	0.02%
Po-pgE2	Centro Volcánico Piedra Grande - Evento 2	0.675004	0.02%
Po-pgE4	Centro Volcánico Piedra Grande - Evento 4	8.252069	0.18%
Po-ruE5	Complejo Volcánico Urpillao-Rushos - Centro Volcánico Rushos - Evento 5	8.425864	0.19%
Po-urpE7	Complejo Volcánico Urpillao-Rushos - Centro Volcánico Urpillao - Evento 7	1.276824	0.03%
Po-urpE9	Complejo Volcánico Urpillao-Rushos - Centro Volcánico Urpillao - Evento 9	5.348561	0.12%
PoNm- pcE2	Centro Volcánico Payhual Caupar - Evento 2	2.12688	0.05%
Pe-slE3	Centro Volcánico San Lorenzo - Evento 3	0.843716	0.02%
Q-eo	Depósito eólico	16.38787 8	0.36%
Ki-chi3	Grupo Goyllarisquizga - Formación Chimú	719.5560 4	16.01%
Ki-f3	Grupo Goyllarisquizga - Formación Farrat	405.8643 1	9.03%
Ki-chi3	Sedimentaria	0.198905	0.00%
Ki-ca3	Grupo Goyllarisquizga - Formación Carhuaz	559.5382 08	12.45%
Ki-g2	Grupo Goyllarisquizga	5.191063	0.12%
ki-i3	Formación Inca	61.61779 6	1.37%
KsP-h3	Formación Huaylas	24.70187 3	0.55%
Po-chu/24	Centro Volcánico Chuño-Chinchin - Evento 2	1.868255	0.04%
Po-chu/44	Centro Volcánico Chuño-Chinchin - Evento 4	5.471042	0.12%
Po-chu/64	Centro Volcánico Chuño-Chinchin - Evento 6	1.355471	0.03%
Po-vi	Complejo Volcánico Viroton	5.594626	0.12%

Q-cl	Depósito coluvial	28.01530 6	0.62%
Ki-pt3	Formación Pariatambo	53.98801 2	1.20%
Ki-s3	Grupo Goyllarisquizga - Formación Santa	95.49182 4	2.12%
Ks-ca3	Formación Cajamarca	6.298992	0.14%
Ks-pu2	Grupo Pulluicana	21.66639 5	0.48%
Js-pm3	Grupo Chicama - Formación Punta Moreno	381.2603	8.48%
Pe.hi3-di	Plutón Higuerón	12.80076 9	0.28%
Peo-ce3-gr	Plutón Centinela	126.8731 3	2.82%
Ks-bc0-gd	Batolito de la Costa	8.181668	0.18%
Pe-cu3-gd	Plutón Cupisnique	2.221427	0.05%
Pe-cu3-gd	Plutón Cupisnique	27.11689 9	0.60%
Po-ru3-gd	Plutón Rushos	256.9406 45	5.72%
Q-al	Depósito aluvial	479.9628 09	10.68%
Q-fl	Depósito fluvial	165.5294 35	3.68%
Qp-gl	Depósito glaciar	2.493449	0.06%
Js-chi3	Formación Chicama	0.05778	0.00%
JsKi-chi2	Grupo Chicama	46.44161 1	1.03%
Js-sa3	Grupo Chicama - Formación Sapotal	24.54913 5	0.55%
Ki-s,ca3	Grupo Goyllarisquizga - Formación Santa, Carhuaz	109.6813 34	2.44%
Ki-t/s4	Grupo Chicama - Formación Tinajones - Miembro Superior	305.6892 06	6.80%
Js-t/i4	Grupo Chicama - Formación Tinajones- Miembro Inferior	220.1093 51	4.90%
Ki-chu3	Formación Chúlec	150.9382 56	3.36%
Ks-qu2	Grupo Quilquiñán	3.529841	0.08%
Pe-scE1	Secuencia Volcánica Santa Clara - Evento 1	0.753345	0.02%
Pe-hiE2b	Centro Volcánico Higuerón - Evento 2b	6.312141	0.14%
Pe-slE2	Centro Volcánico San Lorenzo - Evento 2	9.004265	0.20%
Po-carE2	Centro Volcánico Carabamba - Evento 2	1.959199	0.04%
Po-ruE4	Complejo Volcánico Urpillao-Rushos - Centro Volcánico Rushos - Evento 4	14.55690 5	0.32%
Pe-slE1	Centro Volcánico San Lorenzo - Evento 1	5.495457	0.12%
Po-cgE1	Centro Volcánico Cruz Grande - Evento 1	0.150133	0.00%
JsKi-t3	Grupo Chicama - Formación Tinajones	0.420203	0.01%
Nm-quirE2	Centro Volcánico Quiruvilca - Evento 2	3.283897	0.07%
Po-pgE3	Centro Volcánico Piedra Grande - Evento 3	5.675451	0.13%
Po-urpE6	Complejo Volcánico Urpillao-Rushos - Centro Volcánico Urpillao - Evento 6	2.214563	0.05%

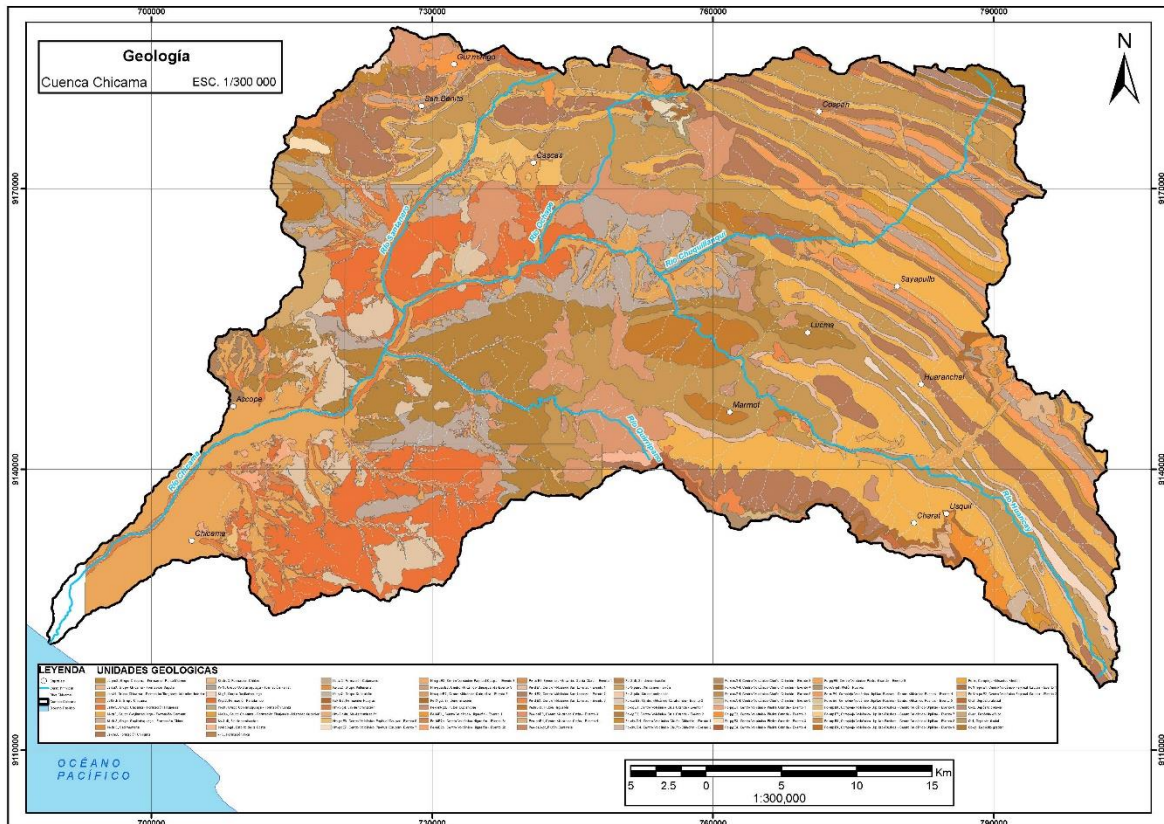
Po-urpE8	Complejo Volcánico Urpillao-Rushos - Centro Volcánico Urpillao - Evento 8	2.872105	0.06%
Nm-pcE6	Centro Volcánico Payhual Caupar - Evento 6	7.538512	0.17%
Nm-pcE8	Centro Volcánico Payhual Caupar - Evento 8	44.111074	0.98%
Nm-quesE3	Centro Volcánico Quesquenda-Evento 3	0.235914	0.01%
Pe-hiE1	Centro Volcánico Higuerón - Evento 1	1.432151	0.03%
Po-pgE5	Centro Volcánico Piedra Grande - Evento 5	1.396364	0.03%
PoNm-pcE1	Centro Volcánico Payhual Caupar - Evento 1	0.199572	0.00%
Peo-caE3	Centro Volcánico Catán - Evento 3	2.158335	0.05%
Peo-caE4	Centro Volcánico Catán - Evento 4	1.093434	0.02%
Po-chu/34	Centro Volcánico Chuño-Chinchin - Evento 3	5.856951	0.13%
TOTAL		4493.740	100.00%

Nota: Adaptado del Mapa geológico del Perú, Instituto Geológico Minero y Metalurgico INGEMMET, 2016.

La geología en la unidad hidrográfica Chicama, nos brinda una idea, de que tantas formaciones geológicas se cuenta, como podemos identificar, las formaciones geológicas son diversas el cual están precisadas en el cuadro que antecede, por lo cual se evidencia la probabilidad de que, en diferentes zonas de la cuenca, la misma geología, pueda alterar de alguna manera a la calidad del agua.

Figura 5

Geología, unidad hidrográfica Cuenca Chicama



Nota: Adaptado a la U. H. Chicama 2022, INGEMMET, 2022.

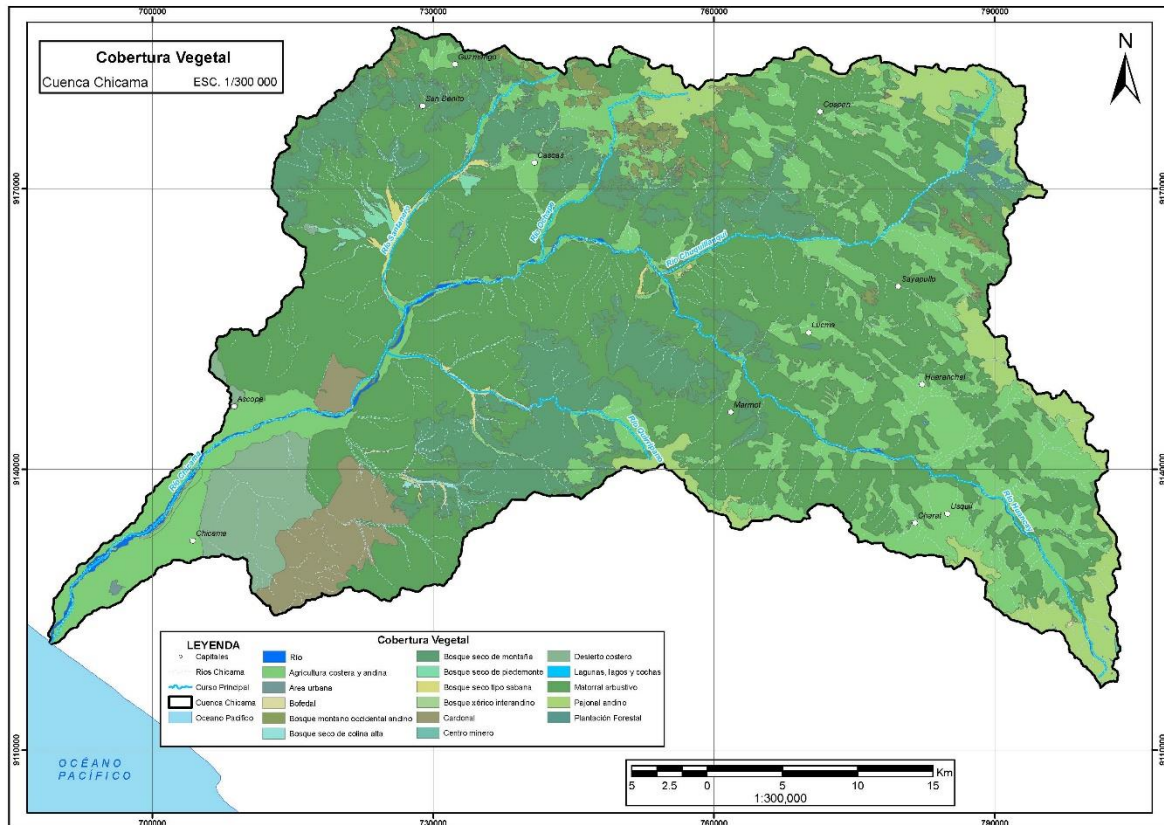
F. Cobertura Vegetal

De acuerdo con el Mapa Nacional de Cobertura Vegetal, en la Unidad Hidrográfica Chicama se identifican 17 tipos de cobertura vegetal, siendo el matorral arbustivo el más predominante, ocupando el 49,80% del área total de la U.H. Chicama. A continuación, los tipos de cobertura vegetal que ocupan las mayores áreas son: la agricultura costera y andina (Agri), con un 21,25%, seguida del bosque seco de montaña (Bsm), con un 13,19%.

Tabla 7*Cobertura vegetal en el ámbito de la U.H. Chicama*

N°	Cobertura Vegetal	Área unidades: Km ²	Símbolo	Porcentaje %
1	Agricultura costera y andina	954,857	Agri	21,25 %
2	Área urbana	2,013	U	0,04 %
3	Bofedal	0,309	Bo	0,01 %
4	Bosque montano occidental andino	62,945	Bm-oca	1,40 %
5	Bosque seco de colina alta	2,497	Bca	0,06 %
6	Bosque seco de montaña	592,601	Bsm	13,19 %
7	Bosque seco de piedemonte	16,193	BSpm	0,36 %
8	Bosque seco tipo sabana	25,898	Bss	0,58 %
9	Bosque xérico interandino	0,662	Bxe-in	0,01 %
10	Cardonal	140,382	Car	3,12 %
11	Centro minero	0,863	Mi	0,02 %
12	Desierto costero	141,221	Dc	3,14 %
13	Lagunas, lagos y cochas	0,285	L/Co	0,01 %
14	Matorral arbustivo	2 237,89	Ma	49,80 %
15	Pajonal andino	264,619	Pj	5,89 %
16	Plantación Forestal	16,343	PF	0,36 %
17	Río	34,153	R	0,76 %
Total		4 493,737597		100,00%

Nota: Mapa Nacional de Cobertura Vegetal, Memoria descriptiva, 2015, Adaptado a la U. H. Chicama 2022.

Figura 6*Tipos de cobertura vegetal, Chicama*

Nota: Adaptado del Mapa Nacional de Cobertura Vegetal, Memoria descriptiva, 2015, Adaptado a la U. H. Chicama 2022.

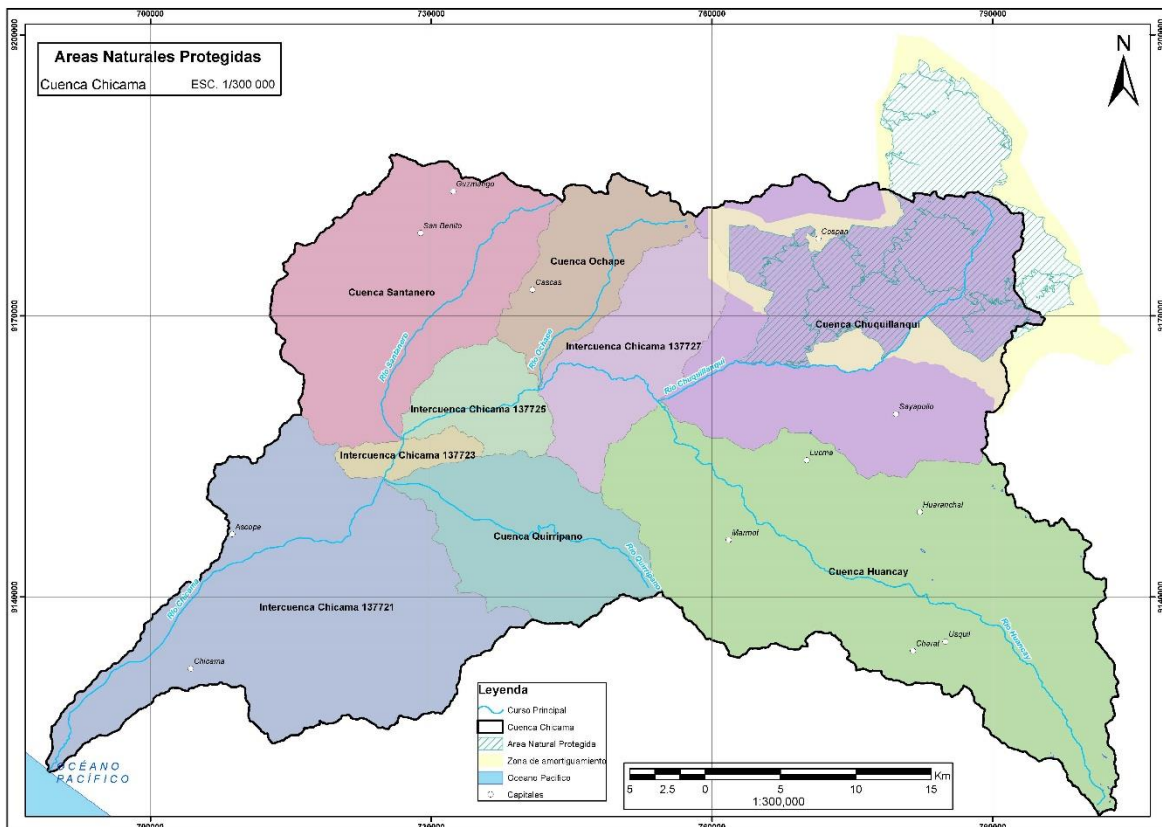
G. Áreas Naturales Protegidas

En la parte Noreste de la unidad hidrográfica Chicama se encuentra parcialmente superpuesta al Coto de Caza Sunchubamba aprobado mediante Resolución Ministerial N°00462-77-AG del año 1997, tiene como objetivo graduar el adecuado uso racional de especies de caza de la fauna silvestre e impulsar la caza deportiva conservando la fauna silvestre. Cuenta con un área total de 59 735,00 hectáreas, la superficie que abarca dentro de la unidad hidrográfica es de 39 916,03 hectáreas que representa el 66,82% del área total, el río principal ubicado sobre el Área Natural Protegida es el río Chucquillanqui, que pertenece

a la unidad hidrográfica menor de nivel 6 Chuquillanqui. En la Figura 8 se presenta la ubicación de la ANP emplazada en la U. H. Cuenca Chicama.

Figura 7

Áreas naturales protegidas, unidad hidrográfica Chicama



Nota: Adaptado a la U. H. Chicama 2022.

H. Población

Para estimar la población en el área de la unidad hidrográfica Chicama, se utilizó la información proveniente de la población censada en el XII Censo de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, publicado por el INEI en 2017. Esta información se adaptó en función de los centros poblados identificados en el área de estudio.

Alrededor de 111 467 personas habitan en la unidad hidrográfica Chicama. Se puede observar la conformación de la población por distrito en la unidad hidrográfica Chicama 137 722. Se ha podido identificar que en los distritos de Casa Grande y Otuzco pertenecientes a las provincias de Ascope y Otuzco respectivamente del departamento de La Libertad cuentan con una población de 28 492 y 24 169 respectivamente. Y la menor población ubicada en el interior de la U.H. Chicama 137722 pertenecen a los distritos de Magdalena de Cao y Marmot que pertenecen a las provincias de Ascope y Gran Chimú ambos del departamento de La Libertad.

Solo en el ámbito de la Chicama que limita parcialmente con los departamentos de Cajamarca y La libertad, se ha identificado que del total de la población de Cajamarca que es de 1 427 527 habitantes y la población de La Libertad que es de 1 888 972 según los censos nacionales del INEI 2017; el 0,81% de la población total de Cajamarca y el 5,29% de la población total de La Libertad se encuentra ubicada dentro del área de la U.H Chicama, es decir 11 600 habitantes del departamento de Cajamarca y 99 867 del departamento de La Libertad. El distrito de Usquil de la provincia de Otuzco es el distrito con mayor cantidad de habitantes (19 297 habitantes) que se encuentran ubicado dentro del área de la U.H Chicama. Y los distritos de Chocope y Cachachi de los departamentos de La Libertad y Cajamarca respectivamente no se ha identificado población en las Áreas ubicadas dentro de la U.H. Chicama.

La presente unidad hidrográfica (nivel 6) Bajo Chicama es la que cuenta con mayor población (42 264 habitantes), es decir el 37,91 % de la población que se identificó se encuentra en esta unidad hidrográfica en mención, en segundo lugar, tenemos a la unidad hidrográfica Alto Chicama con (33 164 habitantes), es decir el 29,75% de la población

identificada se encuentra en esta unidad hidrográfica. Seguidamente, la unidad hidrográfica Chuquillanqui cuenta con (15 469 habitantes), es decir el 13,87%. La unidad hidrográfica Ochape con (7 989 habitantes), es decir el 7,16%, la unidad hidrográfica Santanero con (4 729 habitantes), es decir el 4,24%, la unidad hidrográfica Medio Alto Chicama con (4 008 habitantes), la unidad hidrográfica Quirripango con (2 279 habitantes), es decir el 2,04 %, la unidad hidrográfica Medio Chicama con (1 162 habitantes), es decir el 1,04%. Finalmente, la unidad hidrográfica Medio Baja Chicama es la que cuenta con menor población (403 habitantes), es decir el 0,36% de la población identificada se encuentra en esta unidad hidrográfica.

Tabla 8

Población por unidad hidrográfica (nivel 6), U. H. Chicama, 2022

N.º	Unidad hidrográfica (nivel 6)	Código Pfafstetter	Población censada en la U. H.
1	Bajo Chicama	137721	42 264
2	Alto Chicama	137729	33 164
3	Chuquillanqui	137728	15 469
4	Ochape	137726	7 989
5	Santanero	137724	4 729
6	Medio Alto Chicama	137727	4 008
7	Quirripango	137722	2 279
8	Medio Chicama	137725	1 162
9	Medio Baja Chicama	137723	403
Total:			111 467

Nota: Adaptado de XII Censo de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, INEI, 2017.

FASE II

A. Componentes principales y red de drenaje

Para poder identificar la red de drenajes en el área de estudio, se aplicó un filtro sobre las imágenes LANDSAT ETM de la banda 8 (pancromática) con resolución de 30 metros, resaltando así rasgos estructurales o lineales de la zona correspondientes a los años 2015 al 2021.

Luego, esta imagen se fusionó con las imágenes LANDSAT ETM+ de las bandas 1, 2 y 3, donde se combinaron de manera simple cada 15 metros con la imagen pancromática filtrada. Esta fusión proporciona una información más detallada y estructural, permitiendo identificar con mayor precisión los patrones de drenajes naturales en el área de estudio.

Posteriormente, se realizó una composición de colores con las imágenes fusionadas, lo que permitió obtener una representación visual detallada y estructural de la red de drenajes en el ámbito de estudio.

Una vez identificada la red de drenajes, se procedió al cálculo de los componentes principales utilizando los datos de las imágenes Landsat ETM+ de las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7. Este análisis revelará que el componente principal resalta la red de drenajes en el área de estudio.

B. Cálculo del Índice de Vegetación NDVI

A continuación, se llevará a cabo el cálculo y proceso del “Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada” (NDVI) para cada una de las imágenes seleccionadas en el periodo de años 2015 al 2021. Cada píxel de estos en una imagen ETM+ que contiene un valor

numérico o “número digital” (ND) en base decimal de 0 a 255, los cuales están relacionados en forma lineal con la radiancia (L) expresada en $W\ m^{-2}\ sr^{-1}\ \mu m^{-1}$.

$$L = G * ND + B$$

Donde, $G = \frac{L_{max} - L_{min}}{ND_{max} - ND_{min}}$ es la ganancia; $B = L_{min} - G * ND_{min}$ es el offset o bias.

Se utilizarán los datos de calibración radiométrica contenidos en el archivo de texto metadata.txt, el cual se descarga junto con las imágenes ETM+. A partir de estos datos, se calculará la radiancia utilizando la ecuación correspondiente. Posteriormente, se aplicará el método de corrección atmosférica FLAASH ("Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes"), el cual se basa en principios físicos “atmosféricos y espectroscopia” contenidos en MODTRAN4. Esto nos permitirá obtener la reflectancia de la superficie corregida de forma precisa.

De esta manera, con los datos de reflectancia de la superficie se determina el INDICE NORMALIZADO DE VEGETACIÓN:

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3}$$

Se confirma que ρ_3 representa la reflectancia de la banda 3, abarcando el intervalo espectral de 0,631 a 0,692 μm , mientras que ρ_4 es la reflectancia de la banda 4, que comprende el rango de 0,772 a 0,898 μm . El análisis visual y estadístico del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) indica que la vegetación saludable y verde generalmente exhibe valores entre 0,4 y 1,0, mientras que los suelos desnudos típicamente muestran valores entre 0,0 y 0,4, y los depósitos lacustres pueden oscilar entre -0,6 y 0,0.

C. Cálculo del Índice de diferencia normalizada NDWI

El “Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada Modificada” (NDMI) es una métrica numérica la cual se deriva de imágenes satelitales ópticas, como la imagen “Landsat 8”, utilizando las longitudes de onda del infrarrojo cercano y corto en las bandas espectrales del infrarrojo. La banda espectral infrarroja está vinculada a las alteraciones en el contenido de agua de la vegetación y su estructura del mesófila.

La señal del infrarrojo cercano en esta banda espectral está influenciada por la estructura interna de la hoja y la materia seca de la misma, sin incluir el contenido de agua. Debido a esta característica, se considera una variante del “Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada” (NDVI). Su fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$NDWI = \frac{(pS_{GRE} - pS_{NIR})}{(pS_{GRE} + pS_{NIR})}$$

La fórmula se expresa de acuerdo a la función a las bandas espectrales de la imagen “Landsat 8” como:

$$NDWI = \frac{(pS_{B3} - pS_{B4})}{(pS_{B3} + pS_{B4})}$$

Donde

B3: “Banda Green” con un rango espectral de “0.53 a 0.59 μm ”

B4: “Banda Red” con un rango espectral de “0.64 a 0.67 μm ”

D. Temperatura del Suelo

Luego, se llevará a cabo el cálculo de la temperatura del suelo. En este contexto, la banda 6 del sensor ETM+ (10,31 μm – 12,36 μm) registra la radiancia emitida por la superficie terrestre con una resolución de 60 m. La temperatura de brillo (TB), que depende de la radiancia espectral registrada por la banda 6 del sensor ETM+, se calculará utilizando la ecuación de Planck (Landsat, 2002).

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_6} + 1\right)}$$

Los valores de K1 y K2 calculados para la banda 6 del sensor ETM+ (Landsat, 2002)

Sensor	Banda	Rango (μm)	Center (μm)	$K_1(\cdot 10^7)$ ($\text{W m}^{-3}\text{sr}^{-1}$)	K_2 (K)
ETM+	6	10,31–12,36	11,34	666,09	1282,71

Las imágenes satelitales serán remuestreadas a una resolución espacial de 30 m para poder ser analizadas de manera coordinada con las imágenes de las otras bandas del sensor ETM+. Los números digitales (ND) serán convertidos a radiancia, y posteriormente, utilizando la ecuación número (3), se calculará la temperatura de brillo. Esta temperatura de brillo será luego utilizada para estimar la temperatura del suelo mediante el “algoritmo monocanal”.

$$L_6 = \tau \varepsilon (L_6 + T_S - T_B) + (\tau(1 - \varepsilon) + 1)(1 - \tau)(L_6 + T_A - T_B)$$

En esta ecuación, T_S representa la temperatura del suelo en Kelvin (K), T_B es la temperatura de brillo en Kelvin (K), T_A es la temperatura media de la atmósfera en Kelvin (K), τ es la transmitancia de la atmósfera, y ε es la emisividad de la superficie terrestre. Se emplearán valores de los modelos atmosféricos "Tropical" del algoritmo MODTRAN4, donde $T_A=300$,

15 TA=300,15 K y $\tau=0,57$. La emisividad de la cubierta terrestre se estimará según el NDVI (Van de Griend y Owen, 1993; Snyder et al., 1998). Si el NDVI es igual a -1,000, entonces la emisividad $e=0,985$ $\epsilon=0,985$. Si el NDVI está entre -1,000 y -0,180, la emisividad $e=0,989$ $\epsilon=0,989$. Si el NDVI está entre -0,180 y 0,157, la emisividad $e=0,969$ $\epsilon=0,969$. Si el NDVI está entre 0,157 y 0,727, la emisividad $\epsilon=1,0094+0,047\ln(\text{NDVI})$.

E. Modelo de pendiente

El modelo digital de elevación ASTER GDEM de 12.5 m de resolución espacial es de 30 m considerando m.s.n.m. para el área de estudio, la misma resolución espacial de las imágenes multiespectrales ETM+ del Landsat-7 y 8 a ser empleadas en la presente investigación.

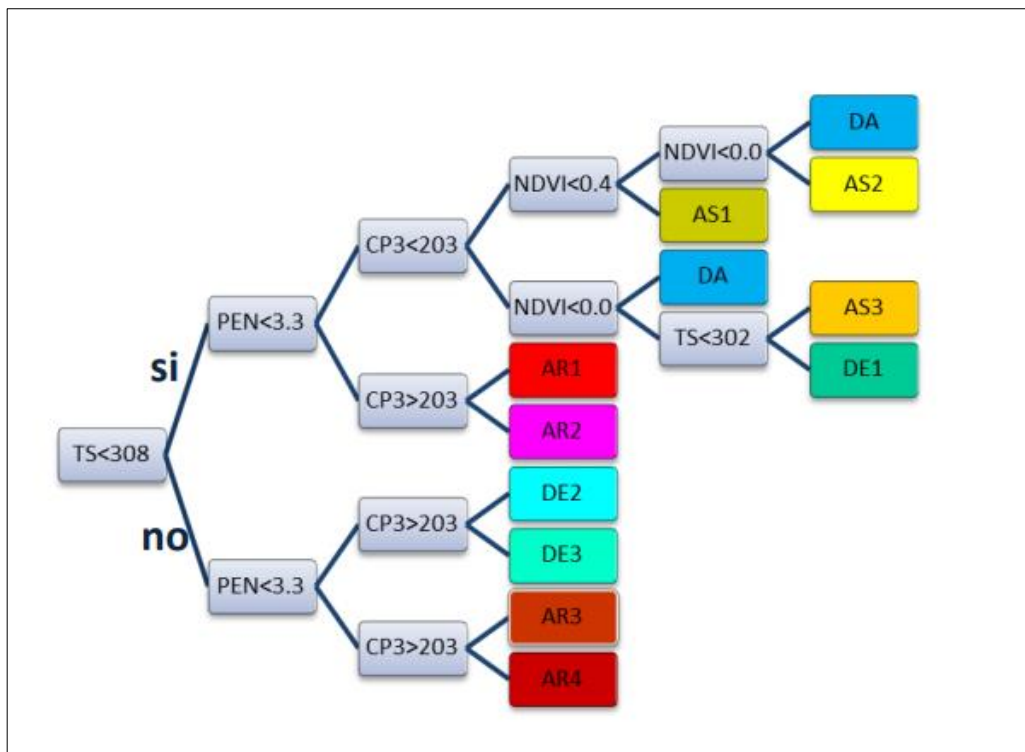
De esta manera se obtendrá el mapa de pendientes de la cuenca del río Chicama empleando para ello el software ARCGIS 10.7.1. El grado de inclinación se relaciona con la pendiente que es medida en grados con respecto a la horizontal.

F. Clasificación de zonas potenciales de agua subterránea

Sin embargo, de acuerdo con el análisis visual y estadístico de las imágenes satelitales LANDSAT 7 y 8 a emplear, donde se clasificará las áreas con potencias con agua subterránea (AS). Para la clasificación se usará un árbol de decisiones.

Figura 8

Esquema de Árbol de decisiones



Fuente. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE

El análisis se realizará utilizando imágenes de T° del Suelo (TS), “Modelo de Pendiente” (PEN), “Componente Principal 3” (CP3) y “NDVI”. Las clases identificadas para este estudio son las siguientes:

Afloramientos Rocosos (AR):

AR1

AR2

AR3

AR4

Estas clases representan áreas donde se identifican afloramientos rocosos en la superficie.

Depósitos Eólicos (DE):

DE1

DE2

DE3

Estas clases abarcan áreas con depósitos eólicos, aluviales o coluviales.

Depósitos Lacústricos (DA):

DA

Esta clase corresponde a áreas con depósitos lacústricos.

Zonas Potencialmente con Agua Subterránea (AS):

AS1

AS2

AS3

Estas clases indican áreas que poseen potencialmente agua subterránea.

Cada clase se determinará utilizando las imágenes mencionadas y las características específicas extraídas de las mismas, como la temperatura del suelo, el modelo de pendiente, la componente principal 3 y el NDVI. Este enfoque permitirá la identificación y clasificación de diferentes tipos de terreno y características en el área de estudio.

FASE III

A. Diseño de la base de datos espacial

Teniendo ya la información de zonas potenciales preliminares de aguas subterráneas, se procederá a diseñar la base de datos espacial en ARCGIS 10.7.1 a través del componente ARCCATALOG que incluirá información de cartografía básica de la cuenca del río Chicama, información geomorfológica, geológica, pendientes, cobertura vegetal, tipo de suelos, temperatura el suelo, imágenes de satélite LANDSAT 8 y 9; entre otros administradas de manera correcta y coherente.

B. Diseño del modelo de localización geoespacial

Con el diseño de la base de datos espacial elaborado se procederá al diseño del modelo de localización geoespacial empleando para ello el módulo MODEL BUILDER del ARCGIS 10.7.1

FASE IV

A. Identificación y evaluación de zonas potenciales de disponibilidad de aguas subterráneas en la Cuenca del Río Chicama

Finalmente, se tendrá ya identificado las zonas potenciales de disponibilidad de aguas subterráneas para su respectiva evaluación en el ámbito de estudio.

3.7. Análisis de datos

Para el análisis de datos se empleó hojas de cálculo excel; el cual permitió el análisis comparativo de las zonas potenciales de disponibilidad de aguas subterráneas, así como los datos en ha correspondientes.

IV. RESULTADOS

a. Procedimientos realizados

PASO 01. DISEÑO DE LA BASE DE DATOS ESPACIAL

El diseño de la base de datos espacial se fundamenta en los atributos que constituyen cada clase de entidad (feature class) definida en cada conjunto de entidades geográficas (feature dataset), y en las relaciones posteriores entre ellas para el análisis de los datos.

PASO 02. REPRESENTACION DE GEOMETRIA Y ENTIDADES

La representación y geometría de las entidades se basan mediante:

- Punto

Tiene una forma muy pequeña por lo que no está definida como un área, no obstante, ilustra la ubicación de un feature.

- Línea

Su forma es angosta por lo que no es definida como un área, no obstante, ilustra la ubicación de un feature

- Área

Tienen una forma poligonal e ilustra una ubicación en un mapa a una escala determinada.

- Ráster

Su representación es de un área en forma de celdas rectangulares (ya sea una imagen satelital, orto imagen, ortofoto, LIDAR, etc.).

- Imagen

Se utiliza en una variedad de análisis y se representa como una imagen digital.

- Objeto

Identifica un feature para el cual un punto, línea o área no es representado y para el cual no hay representación geométrica o gráfica.

PASO 03. ENTIDADES Y RELACIONES

Este proceso proporciona un nivel más detallado en la visualización de los datos. Se utilizó un diagramador UML compatible con la versión ARCGIS 10.7.1, lo que facilitó la interacción entre la información espacial de los monitoreos ambientales, los vertimientos y los pasivos ambientales, así como la relación entre ellos, permitiendo un análisis geostadístico de los parámetros ambientales dentro del área de estudio.

La geodatabase creada en el diseño del Sistema de Información Geográfica (SIG) permitió establecer relaciones entre los features y los objetos. La versión ARCGIS 10.7.1 ofrece la funcionalidad para relacionar y asegurar la integridad de los feature datasets y classes creados. Por lo tanto, es importante considerar las relaciones entre los objetos, un proceso conocido como relationship classes.

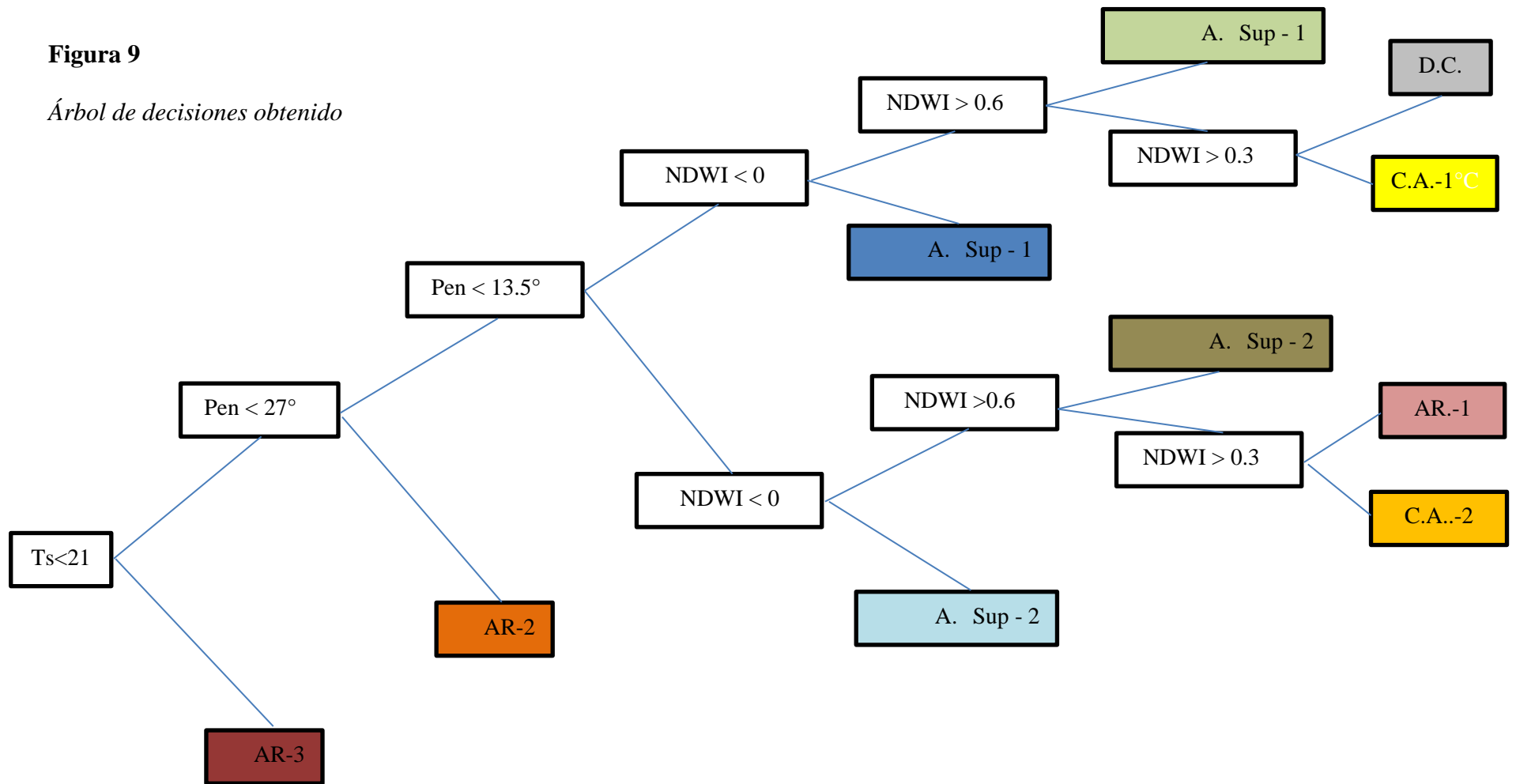
Finalmente; el diseño de un modelo de localización geoespacial para la evaluación de la disponibilidad de aguas subterráneas en la cuenca del río Chicama ha dado como resultado lo sgte:

PASO 04. SECUENCIA DEL MODELO

Una vez realizado los tres primeros pasos se procedió a definir la secuencia del modelo para la obtención de las áreas potenciales con disponibilidad de aguas subterráneas en el ámbito de estudio a través del árbol de decisiones:

Figura 9

Árbol de decisiones obtenido



Donde:

TS	: Temperatura superficial
PEN	: Pendientes
NDWI	: Índice de Diferencia Normalizada Agua
NDVI	: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada
A. Sub – 1	: Agua Subterránea tipo 1.
A. Sub – 2	: Agua Subterránea tipo 2.
A. Sup – 1	: Agua Superficial tipo 1.
A. Sup – 2	: Agua Superficial tipo 2.
A.R – 1	: Afloramiento Rocoso tipo 1.
A.R – 2	: Afloramiento Rocoso tipo 2.
A.R – 3	: Afloramiento Rocoso tipo 3.
C.A – 1	: Cubierta Artificial tipo 1.
C.A – 2	: Cubierta Artificial tipo 2.
D.C	: Depósito Cuaternario.

Tabla 9*Agua Subterránea Tipo 1 (A. Sub-1)*

Agua Subterránea Tipo 1 (A. Sub - 1)
Ts < 21 C° Bajo nivel de evapotranspiración
Pen < 13.5 Favorable a la infiltración
NDWI < 0 Sin presencia de agua superficial
NDVI > 0.6 Presencia de vegetación sana a muy saludable

Tabla 10*Agua Subterránea Tipo 2 (A. Sub-2)*

Agua Subterránea Tipo 2 (A. Sub - 2)
Ts < 21 C° Bajo nivel de evapotranspiración
13.5 < Pen < 27 Moderadamente favorable a la infiltración
NDWI < 0 Sin presencia de agua superficial
NDVI > 0.6 Presencia de vegetación sana a muy saludable

Tabla 11*Cubierta Artificial Tipo 1 (C.A. - 1)*

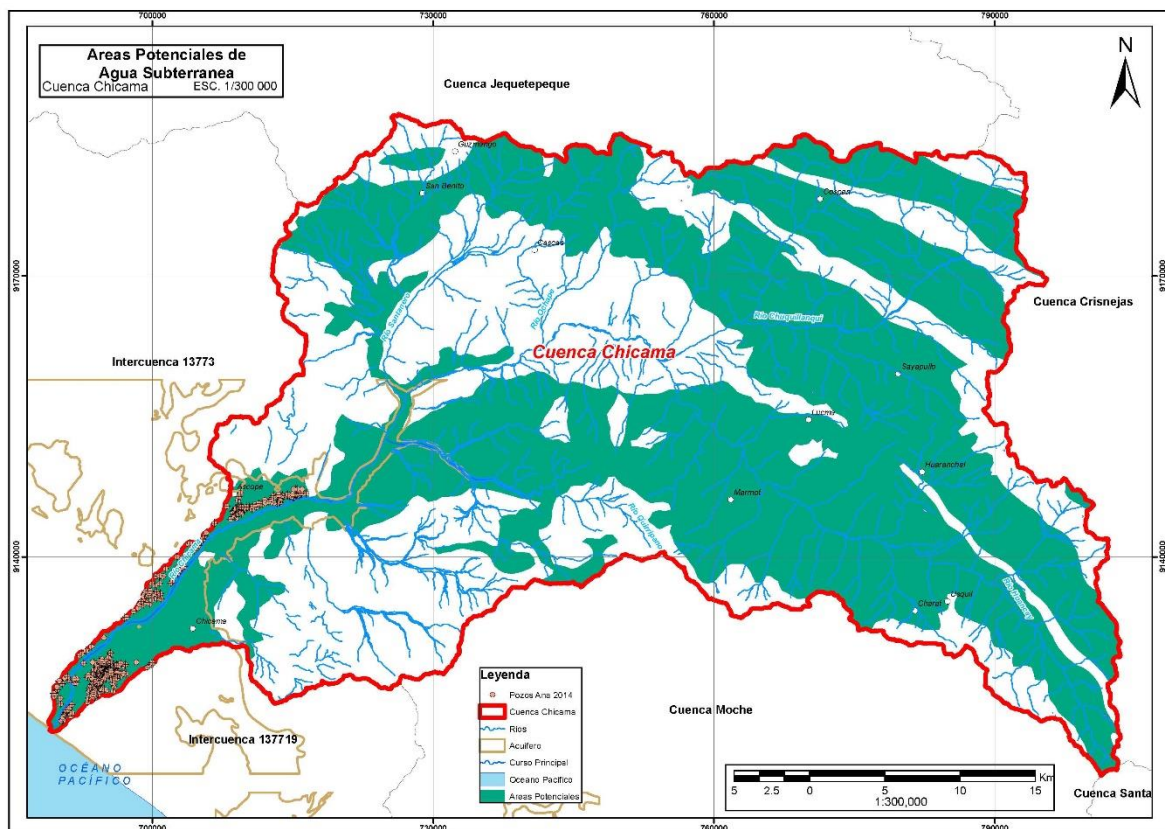
Cubierta Artificial Tipo 1 (C.A. - 1)
NDWI < 0 Sin presencia de agua superficial
NDVI > 0.3 Diversos materiales sin agua superficial
Pen < 13.5 Favorable a la infiltración
Ts < 21 C° Bajo nivel de evapotranspiración

Tabla 12*Cubierta Artificial Tipo 2 (C.A. - 2)*

Cubierta Artificial Tipo 2 (C.A. - 2)
NDWI < 200 Sin presencia de agua superficial
NDVI < 0.3 Agua superficial
Pen < 27 Favorable a la infiltración
Ts < 21 C° Bajo nivel de evapotranspiración

Figura 10

Identificación de Áreas potenciales con disponibilidad de aguas subterráneas en la cuenca del río Chicama



El área total identificado con potencial de disponibilidad de agua subterráneas es de

262,007.19 ha.

V. DISCUSIONES DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos evidencian la factibilidad de detectar áreas con presencia de agua subterránea en la cuenca Chicama utilizando imágenes LANDSAT 8 y 9 en conjunto con datos cartográficos institucionales, mediante la aplicación del método de árbol de decisiones. Esta conclusión se respalda mediante el empleo de coordenadas asociadas a pozos de agua subterránea registrados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en la cuenca Chicama en el año 2018.

Tras realizar un análisis estadístico en el software ArcGIS 10.7.1, se concluyó que el 90% de los 491 pozos subterráneos inventariados por la ANA en 2014 corresponden con certeza a las zonas de agua subterránea del presente estudio. No obstante, se observa que el método de árbol de decisiones no es estático, especialmente en áreas cercanas a las zonas costeras, tal como señalaron Mendoza J. & Rojas J. (2013).

A pesar de estos avances, la falta de información sobre la capacidad de almacenamiento y los datos precisos sobre la explotación del agua subterránea dificultan una planificación adecuada del uso de los recursos hídricos.

VI. CONCLUSIONES

- 6.1. El área total identificado con potencial de disponibilidad de agua subterráneas es de 262,007.19 ha.
- 6.2. El empleo de las imágenes satelitales Landsat, así como la información cartográfica de diferentes instituciones del estado permitieron un correcto análisis espacial de los datos. De esta manera, fue posible ubicar estas áreas potenciales con disponibilidad de aguas subterráneas usando parámetros superficiales mediante el método de árbol de decisiones en la cuenca del río Chicama.
- 6.3. Se concluye que el clasificador en árbol es un método multifactorial ampliamente utilizado para la búsqueda de agua subterránea, que proporciona un gran apoyo en la combinación de variables espectrales utilizando codificación en rangos.
- 6.4. Sin embargo, se concluye también que estas áreas potenciales identificadas es un alcance preliminar. Se deberán desarrollar estudios básicos especializados como mecánicas de suelos, estudios hidrogeológicos e hidráulicos para tener data relevante que permita ajusta la información obtenida.
- 6.5. La presente investigación constituye un aporte valioso e importante en la gestión de los recursos hídricos, pero sobre todo con miras en la conservación y disponibilidad adecuada del agua superficial para el adecuado desarrollo de las diferentes actividades productivas en la zona. Este aspecto obedece también a considerar un estudio técnico a detalle sobre la oferta y demanda de uso poblacional de este recurso para su uso de manera sostenible en el tiempo.

VII. RECOMENDACIONES

- 7.1. Se recomienda elevar la presente investigación a los actores involucradas de la cuenca del río Chicama para de esta manera proponer lineamiento y estrategias de uso razonable de la disposición de aguas subterráneas en el ámbito de estudio.
- 7.2. Se recomienda que los resultados obtenidos en la presente investigación se respalden y ajusten con el desarrollo posterior de estudios básicos de ingeniería para tener una mayor precisión de las áreas potenciales identificadas.
- 7.3. Se recomienda informar a la población residente sobre los alcances de esta presente investigación y que motive esta acción al desarrollo de nuevos estudios que abarquen la problemática planteada.

VIII. REFERENCIAS

- ANA, (Ed.) (2009). Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos del Perú. Comisión Técnica Multisectorial conformada por R.M. N° 051-2007-PCM. Ministerio de Agricultura
- Bea, M., Rodríguez, J. A. y Montesinos, S. (2013): Uso de técnicas de información geográfica para la discriminación de superficies regadas. Revista GeoFocus (Artículos), N° 13-1, p. 220-245. ISSN: 1578-5157.
- Cabana Monzón, Walter E. (2019), Tesis titulada “Evaluación de la descarga difusa de aguas subterráneas al mar mediante imágenes satelitales Landsat 8”
- Castaño Fernández, Santiago. (2009). Investigación titulada “Aplicaciones de la teledetección y SIG al control y cuantificación de las extracciones de agua subterránea. España”.
- Catonha, Moisés; Sacasas León, Carlos; Pérez Lazo, José. (2015). Investigación titulada “Prospección de aguas subterráneas mediante lógica difusa en Luanda, Angola”.
- Chander, G. M, Markham, B. L. and Helder D.L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. Remote Sensing of Environment, 113(5): 893 – 903.
- Geodatabase (ESRI). Recuperado el 04 de noviembre del 2014 de: <http://www.esri.com/software/arcgis/geodatabase>

- Hansen James, & Hansen Gary. (1998) Diseño y Administración de Bases de Datos. Trad. Miguel Katrib Mora, Universidad de la Habana, Patricio Yustas Torijano, Universidad Pontificia de Madrid. Prentice Hall Editores. España 1998.
- Hernández, Myriam (2010). Investigación titulada “Metodología para la prospección de agua subterránea utilizando información satelital y datos obtenidos en forma tradicional, Ecuador”.
- Longley P., Goodchild M., Maguirre D. & Rhind D. (2005) Geographical Information Systems and Science. 2nd edition John Wiley & Sons editors, USA.
- López, E. K. y Navarrete C. E. (2004). Utilización de imágenes de satélite en la prospección de aguas subterráneas. Artículo de Tesis de Grado. Escuela Superior Politécnica del Litoral. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/260>
- Macas Espinosa, V. X.; López Escobar, K. F (2017). Investigación titulada “Potencial para la exploración de aguas subterráneas en la Demarcación Hidrográfica Puyango Catamayo, Ecuador, utilizando un proceso de análisis jerárquico basado en SIG y teledetección”.
- Mendoza Nolorbe, J; Rojas Acuña, J (2013). “Clasificación de Imágenes ETM y Aster GDEM por el método de árbol de decisiones para la detección de agua subterránea en Perú. Caso de Estudio: Lambayeque. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima – Perú

Mendoza, J. (2012): “Exploración de aguas subterráneas en la Región Lambayeque – Perú usando imágenes Landsat y ASTER”, Tesis de Maestría en Física mención Geofísica. Unidad de Postgrado. Facultad de Ciencias Físicas. UNMSM. 226 pp.

Montesinos, Salomón; Fernández, Lara; Gonzales, Manuel (2017). “Cuantificación mediante teledetección de las extracciones de agua subterráneas en el acuífero de Aguascalientes”, México

Montesinos, S y BEA, M. (2008): “Aplicaciones operativas de la Teledetección en la planificación y gestión del medio hídrico”. Revista de la Asociación Española de Teledetección, N° 29: pp. 91-100.

Montesinos, S., ALMAGRO, F., URREA, M. (2009a). Estimación de superficies en regadío en la Cuenca del Segura mediante teledetección y SIG. XIII Congreso Internacional de Teledetección. Calatayud, 23 al 26 septiembre 2009. ISBN: 978-84-613-4257-0. Pg. 145-148.

Observatorio del Agua del SNIRH. (Junio de 2021). *Observatorio SNIRH*. Obtenido de <http://snirh.ana.gob.pe/observatorioSNIRH/>

Resolución Jefatural N.º 136-2018-ANA. (s.f.). Obtenido de <https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/R.J.%20136-2018-ANA.pdf>

Resolución Jefatural N° 084-2020-ANA. (2020). *Autoridad Nacional del Agua*. Obtenido de Metodología: “Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales

(ICARHS)":<https://www.ana.gob.pe/normatividad/resoluciones-ana/jefaturales?title=&year=all&page=1>

Rodríguez-ramos, b., Velandia, f. & Cárdenas, r. (2008) “Teledetección y SIG aplicados a la exploración geológico-geofísica en el altiplano nariñense - Colombia. - geología colombiana, 33, pp. 79-90, 15 figs., Bogotá”.

Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos. (Jun de 2021). *Visor de Estaciones*.
Obtenido de <http://snirh.ana.gob.pe/visors2/>

Sanz, David (2010). “Metodología para la cuantificación de la captación de aguas subterráneas para la agricultura mediante teledetección y SIG”, Universidad de Castilla – La Mancha, España.

Travaglia, C. y Dainelli, N. (2003). Groundwater search by remote sensing: A methodological approach. (FAO, Ed.) Environment and Natural Resources Working Paper No. 13.

IX. ANEXOS

ANEXO A

Tabla 13

Definición de Features datasets con sus feature class, tipo y relación de atributos

Geodatabase	Feature Datasets	Feature Class	Tipo de Class	Atributos (Campos que lo conforman)
Cuenca Chicama	Cartografía Base	Limite Internacional	Polígono	NOMB_LIMIT FUENTE DATUM ZONA
		Limite Departamental	Polígono	NOMB_DEPA AREA_KM2 FUENTE PROYECCION DATUM ZONA
		Límite Provincial	Polígono	NOMB_PROV NOMB_DEPA AREA_KM2 FUENTE PROYECCION DATUM ZONA
		Limite Distrital	Polígono	NOM_CAP NOMB_DIST NOMB_PROV NOMB_DEPA AREA_KM2 FUENTE PROYECCION DATUM ZONA
		Limite Cuencas Hidrográficas	Polígono	NOMB_UH_N1 NOMB_CUENC AREA_KM2 FUENTE PROYECCION DATUM ZONA

Limite Cuenca Chicama	Polígono	NOMB_UH_N1 AREA_KM2 NOMB_CUENC FUENTE PROYECCION DATUM ZONA
Limite Subcuencas Chicama	Polígono	NOMB_UH_N1 NOMB_CUENC NOMB_SUBCU AREA_KM2 FUENTE PROYECCION DATUM ZONA DEPA PROVINCIA
ALA – Autoridad Local del Agua	Polígono	SEDE_ALA CODE_ALA FUENTE PROYECCION DATUM ZONA NOMB_ALA NOMB_AAA
Red Vial Departamental	Línea	TRAMOS TIPO_VIA NOMB_DEPA NOMB_PROV LONG_KM FUENTE PROYECCION DATUM ZONA
Red Vial Nacional	Línea	TIPO_VIA TRAMO NOMB_DEPA NOMB_PROV LONG_KM FUENTE PROYECCION DATUM ZONA
Red Vial Vecinal	Línea	TRAMOS TIPO_VIA NOMB_DEPA

		NOMB_PROV ANCHO_VIA LONG_KM FUENTE PROYECCION DATUM ZONA
Curvas de Nivel	Línea	CUENCA TIPO_CURVA ALTURA FUENTE PROYECCION DATUM ZONA
Estaciones Hidrometeorológicas	Punto	NOM_ESTA TIP_EST ESTADO ALTITUD NOMB_DEPA NOMB_PROV NOMB_DIST NOMB_CUENC FUENTE PROYECCION DATUM ZONA COORD_ESTE COORD_NORTE
Hidrología	Línea	AAA TIPO_HIDRO CUENCA NOMB_HIDRO LONG_HIDRO FUENTE PROYECCION DATUM ZONA
Lagunas Cuenca Chicama	Polígono	AAA NOMBRE CUENCA AREA_KM2 FUENTE PROYECCION DATUM ZONA
Geología	Polígono	DESCRIPCIO

Línea Base Física		CODIGO NOMB_CUENC FUENTE PROYECCION DATUM ZONA
Fallas Geológicas	Línea	NOMB_CUENC LONG FUENTE PROYECCION DATUM ZONA
Geomorfología	Polígono	CODIGO DESCRIPCIO NOMB_CUENC FUENTE PROYECCION DATUM ZONA
Zonas de Vida	Polígono	DESCRIPCIO CODIGO NOMB_CUENC PP_MIN PP_MAX TEM_MIN TEM_MAX FUENTE PROYECCION DATUM ZONA
Cobertura Vegetal	Polígono	NOMB_CUENC COGIGO DESCRIPCIO FUENTE PROYECCION DATUM ZONA
Climático	Polígono	NOMB_CUENC CODIGO FUENTE PROYECCION DATUM ZONA

ANEXO B

Tabla 14

Definición de Feature class con atributos y descripción tabular

Feature class	Atributos (Campos)	Descripción tabular
Limite Internacional	NOMB_LIMIT	Nombre de los limites internacionales vecinos
	FUENTE	Procedencia de la información
	DATUM	Parámetro WGS84
	ZONA	Zona cartográfica UTM del ámbito de estudio
Limite Departamental	NOMB_DEPA	Nombre del Departamento
	AREA_KM2	Área departamental (km ²)
	FUENTE	Procedencia de la información
	PROYECCION	UTM
	DATUM	Parámetro WGS84
	ZONA	Zona cartográfica UTM del ámbito de estudio
	NOMB_PROV	Nombre de Provincias
Límite Provincial	NOMB_DEPA	Nombre del Departamento
	AREA_KM2	Área provincial (km ²)
	FUENTE	Procedencia de la información
	PROYECCION	UTM
	DATUM	Parámetro WGS84
	ZONA	Zona cartográfica UTM del ámbito de estudio
	NOM_CAP	Nombre de capital distrital
Límite Distrital	NOMB_DIST	Nombre de distritos
	NOMB_PROV	Nombre de provincias
	NOMB_DEPA	Nombre del departamento
	AREA_KM2	Área distrital (km ²)
	FUENTE	Procedencia de la información
	PROYECCION	UTM

	DATUM	Parámetro WGS84
	ZONA	Zona cartográfica UTM del ámbito de estudio
Límite Cuencas Hidrográficas	NOMB_UH_N1	Nombre de la Unidad Hidrográfica
	NOMB_CUENC	Nombre de la Cuenca Hidrográfica
	AREA_KM2	Área de cuencas hidrográficas (km ²)
	FUENTE	Procedencia de la información
	PROYECCION	UTM
	DATUM	Parámetro WGS84
	ZONA	Zona cartográfica UTM del ámbito de estudio
Limite Cuenca Chicama	NOMB_UH_N1	Nombre de la Unidad Hidrográfica
	AREA_KM2	Área de la Cuenca Hidrográfica (km ²)
	NOMB_CUENC	Nombre de la Cuenca Hidrográfica
	FUENTE	Procedencia de la información
	PROYECCION	UTM
	DATUM	Parámetro WGS84
	ZONA	Zona cartográfica UTM del ámbito de estudio
Limite Subcuencas Chicama	NOMB_UH_N1	Nombre de la Unidad Hidrográfica
	NOMB_CUENC	Nombre de la Cuenca Hidrográfica
	NOMB_SUBCU	Nombre de Subcuencas
	AREA_KM2	Área de subcuencas (km ²)
	FUENTE	Procedencia de la información
	PROYECCION	UTM
	DATUM	Parámetro WGS84
	ZONA	Zona cartográfica UTM del ámbito de estudio
	DEPA	Nombre del departamento
	PROVINCIA	Nombre de provincias
SEDE_ALA	Sede de la Autoridad Local del Agua	

ALA – Autoridad Local del Agua	CODE_ALA	Codificación de la Autoridad Local del Agua
	FUENTE	Procedencia de la información
	PROYECCION	UTM
	DATUM	Parámetro WGS84
	ZONA	Zona cartográfica UTM del ámbito de estudio
	NOMB_ALA	Nombre de la Autoridad Local del Agua (ALA)
	NOMB_AAA	Nombre de la Autoridad Administrativa del Agua (AAA)
Red Vial Departamental	TRAMOS	Puntos de que recorre la red vial departamental
	TIPO_VIA	Clasificación del tipo de vía
	NOMB_DEPA	Nombre del departamento
	NOMB_PROV	Nombre de provincias
	LONG_KM	Longitud de la red vial (Km)
	FUENTE	Procedencia de la información
	PROYECCION	UTM
	DATUM	Parámetro WGS84
Red Vial Nacional	ZONA	Zona cartográfica UTM del ámbito de estudio
	TIPO_VIA	Clasificación del tipo de vía
	TRAMO	Puntos que recorre la red vial nacional
	NOMB_DEPA	Nombre del departamento
	NOMB_PROV	Nombre de provincias
	LONG_KM	Longitud de la red vial (km)
	FUENTE	Procedencia de la información
	PROYECCION	UTM
	DATUM	Parámetro WGS84
ZONA	Zona cartográfica UTM del ámbito de estudio	
	TRAMO	Puntos que recorre la red vial vecinal

Red Vial Vecinal	TIPO_VIA	Clasificación del tipo de vía
	NOMB_DEPA	Nombre del departamento
	NOMB_PROV	Nombre de provincias
	ANCHO_VIA	Ancho de la vía (m)
	LONG_KM	Longitud de la vía (km)
	FUENTE	Procedencia de la información
	PROYECCION	UTM
	DATUM	Parámetro WGS84
	ZONA	Zona cartográfica UTM del ámbito de estudio
Curvas de Nivel	CUENCA	Nombre de la Cuenca Hidrográfica
	TIPO_CURVA	Clasificación de curvas de nivel
	ALTURA	Altitud
	FUENTE	Procedencia de la información
	PROYECCION	UTM
	DATUM	Parámetro WGS84
Estaciones Hidrometeorológicas	ZONA	Zona cartográfica UTM del ámbito de estudio
	NOM_ESTA	Nombre de la estación hidrometeorológica
	TIP_EST	Clasificación de la estación hidrometeorológica
	ESTADO	Estado actual
	ALTITUD	Altitud
	NOMB_DEPA	Nombre del departamento
	NOMB_PROV	Nombre de provincias
	NOMB_DIST	Nombre de distritos
	NOMB_CUENC	Nombre de la Cuenca Hidrográfica
	FUENTE	Procedencia de la información
	PROYECCION	UTM
	DATUM	Parámetro WGS84
	ZONA	Zona cartográfica UTM del ámbito de estudio
	COORD_ESTE	Coordenada Este

Hidrología	COORD_NORTE	Coordenada Norte
	AAA	Nombre de la Autoridad Administrativa del Agua
	TIPO_HIDRO	Clasificación de la red hídrica
	CUENCA	Nombre de la Cuenca Hidrográfica
	NOMB_HIDRO	Nombre del río y quebradas tributarias
	LONG_HIDRO	Longitud de la red hídrica (Km)
	FUENTE	Procedencia de la información
	PROYECCION	UTM
	DATUM	Parámetro WGS84
	ZONA	Zona cartográfica UTM del ámbito de estudio
Lagunas	AAA	Nombre de la Autoridad Administrativa del Agua
	NOMBRE	Nombre de lagunas
	CUENCA	Nombre de la cuenca hidrográfica
	AREA_KM2	Área de las lagunas (Km ²)
	FUENTE	Procedencia de la información
	PROYECCION	UTM
	DATUM	Parámetro WGS84
ZONA	Zona cartográfica UTM del ámbito de estudio	
Geología	DESCRIPCIO	Información relevante de la unidad estratigráfica
	CODIGO	Simbología de la unidad estratigráfica
	NOMB_CUENC	Nombre de la cuenca hidrográfica
	FUENTE	Procedencia de la información
	PROYECCION	UTM
	DATUM	Parámetro WGS84
	ZONA	Zona cartográfica UTM del ámbito de estudio
Fallas Geológicas	NOMB_CUENC	Nombre de la cuenca hidrográfica
	LONG	Longitud de la falla geológica (km)

	FUENTE	Procedencia de la información
	PROYECCION	UTM
	DATUM	Parámetro WGS84
	ZONA	Zona cartográfica UTM del ámbito de estudio
Geomorfología	CODIGO	Simbología de la unidad geomorfológica
	DESCRIPCIO	Información relevante de la unidad geomorfológica
	NOMB_CUENC	Nombre de la cuenca hidrográfica
	FUENTE	Procedencia de la información
	PROYECCION	UTM
	DATUM	Parámetro WGS84
	ZONA	Zona cartográfica UTM del ámbito de estudio